

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechnicky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Měření ochran ABB na modelu vn/vvn rozvodny

Testing of ABB relay protection functions on MV/HV substation model

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Vávra**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Měření ochran ABB na modelu vvn rozvodny**
Testing of ABB relay protection functions on HV substation model
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Elektrické ochrany ve vn a vvn síti - dělení ochran.
- o Chránění vývodu transformátoru.
- o Popis konkrétní ochrany transformátoru.
- o Nastavení a měření na ochraně transformátoru.
- o Vypracování návodu laboratorní úlohy a vzorového protokolu.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- o Medvec, Z.: Poruchy a chránění elektrických sítí, Ostrava 2014
- o Sleva, A. F.: Protective relay principles. CRC Press 2009
- o P. M. Anderson: Power System Protection, IEEE Press 1999
- o Blackburn, J. Lewis: Protective relaying-principles and applications. Marcel Dekker 1998
- o Manuály ochran
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární zdroje a publikace ze kterých jsem čerpal.

Lukáš Vávra
.....

Lukáš Vávra

Ve Velké Bystřici dne: 15.05.2020

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Břetislavu Stachovi, Ph. D. za jeho pomoc, trpělivost a neocenitelné rady při tvorbě této magisterské práce. Jeho dlouhodobá podpora a zkušenosti mi umožnily se rozvinout jednak v praxi a pak také akademicky. Chtěl bych také poděkovat prof. Ing. Radomíru Goňovi, Ph.D. jako vedoucímu této práce, za jeho shovívavost a pochopení pro mé časové vytížení při zpracovávání této magisterské práce a jeho zpětné vazby při závěrečném vypracování.

Abstrakt

Cílem této magisterské práce je vytvoření laboratorní úlohy v laboratoři EB015 na Fakultě elektrotechniky a informatiky VŠB – TU Ostrava s využitím ochrany transformátoru RET630 od společnosti ABB.

V teoretické části je popsáno rozdělení elektrických ochran vn a vvn, dále jsou popsány typické poruchy vývodů transformátorů a jak jsou běžně řešeny. Tato práce také obsahuje popis ochrany RET630 a jejich funkčních bloků.

Praktická část diplomové práce se zaměřuje na vytvoření měřicí úlohy pro rozdílovou ochranu transformátoru na modelu vn rozvodny. Další část obsahuje popis konfigurace ochrany a návod pro vytvoření vzorového protokolu měřicí úlohy.

Klíčová slova

RET630, PCM600, rozdílová ochrana, ochrana transformátoru, laboratorní úloha

Abstract

The aim of this master's thesis is to create a laboratory task in the laboratory EB015 at the Faculty of Electrical Engineering and Compute Science VŠB - TU Ostrava using the transformer protection RET630 from the company ABB.

The theoretical part describes the division of MV and HV electrical protections, then describes the typical failures of transformer terminals and how they are commonly solved. This work also contains a description of RET630 protection and its functional blocks.

The practical part of the diploma thesis focuses on the creation of a measuring task of differential protection of transformer on a model of a high voltage substation. The next section contains a description of the protection configuration and instructions for creating a sample protocol of the measurement task.

Key words

RET630, PCM600, differential protection, transformer protection, laboratory

Seznam použitých symbolů a zkratek

ANSI	American National Standards Institute
CT	Current Transformer
HW	Hardware
I_n	Jmenovitý proud
I_d	Rozdílový proud
I_b	Stabilizační proud
I_p	Primární proud
I_s	Proud měřicím transformátorem
IED	Intelligent Electronic Device
LED	Light Emitting Diode
SW	Software
R	Odpor
REF	Restricted Earth Fault
nn	Nízké napětí
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí

Seznam použitých názvů souvisejících s ochranou REF-630

CMMXU	Třífázová proudová měřicí funkce
GOOSE	Horizontální komunikace
HMI	Člověk – stroj rozhraní
LHMI	Lokální rozhraní člověk – stroj
PCM600	Program na úpravu konfigurace ochrany RET630
SMAI_20_1	Matice signálu pro primární analogové vstupy proudu
SMAI_20_2	Matice signálu pro sekundární analogové vstupy proudu
TR2PTDF	Funkční blok pro rozdílovou ochranu
TRPPTRC	Vypínací logika

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Obrázky

<i>Obr. 1 Komunikace mezi obsluhou, ochranou a chráněným objektem</i>	<i>2</i>
<i>Obr. 2 Princip plynového relé</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 3 Zobrazení zapojení jednotlivých ochran transformátoru</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4 Proudý tekoucí do transformátoru</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 5 Zemní rozdílová ochrana pro vinutí zapojené do hvězdy</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 7 Zemní rozdílová ochrana s odporově uzemněným vinutím zapojeným do hvězdy</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 8 Ochrana RET630</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 9 Funkční blok SMAI_20_1</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 10 Funkční blok CMMXU</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 11 Funkční blok TR2PTDF</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 12 Funkční blok TRPPTRC</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 13 Modul napájení</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 14 Trojfázový autotransformátor</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 15 Spínačové pole</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 16 Ochrana RET630 zapojená ve stole</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 17 Svorky oddělovacího transformátoru</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 18 Štítek oddělovacího transformátoru</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 19 Oddělovací transformátor</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 20 Zátěž na transformátoru</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 21 Modul Poruch</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 22 Schéma zapojení</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 23 Propojení autotransformátoru a spínačového pole I</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 24 Propojení spínačového pole s ochranou RET630</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 25 Propojení primární strany transformátoru s ochranou RET630</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 26 Propojení sekundární strany transformátoru s ochranou RET630 a odporovou zátěží do hvězdy</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 27 Připojení modulu poruch na transformátor</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 28 nastavení převodu měřícího transformátoru</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 29 Nastavení parametrů TR2PTDF</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 30 Princip funkce rozdílové ochrany</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 31 Charakteristika stabilizačního proudu funkčního bloku TR2PTDF</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 32 Meze nastavení vypínacích charakteristik rozdílové ochrany</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 33 Elektrické schéma zapojení</i>	<i>44</i>

Tabulky

<i>Tab. 1 Naměřené hodnoty charakteristiky 1 rozdílové ochrany</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 2 Naměřené hodnoty charakteristiky 2 rozdílové ochrany</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 3 Naměřené hodnoty charakteristiky 3 rozdílové ochrany</i>	<i>45</i>

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	6
Seznam použitých názvů souvisejících s ochranou REF-630	7
Seznam ilustrací a seznam tabulek	8
Obsah	9
1. Úvod	1
2. Elektrické ochrany ve vn a vvn síti	2
2.1. Základní pojmy	2
2.2. Vn Rozvaděče	3
2.3. Speciální aplikace Rozvaděčů vn	3
2.4. VVN Rozvaděče	4
2.5. Požadavky kladené na ochrany	6
2.6. Rozdělení elektrických ochran	9
3. Chránění vývodu transformátoru	10
3.1. Základní ochrany transformátoru	10
3.2. Doplnkové ochrany transformátoru	12
3.3. Výkonové dělení ochran transformátorů	13
3.4. Obecně poruchy transformátoru rozdělujeme do dvou skupin	14
4. Druhy ochrany vývodů transformátorů	15
4.1. Poruchy transformátoru a jejich chránění	15
4.2. Rozdílová ochrana	17
4.3. Zemní rozdílová ochrana	19
5. Popis ochrany transformátoru RET630	21
5.1. Aplikace	21
5.2. Před konfigurované verze RET630	22
5.3. Ochranné funkce	22
5.4. Ovládání	23
5.5. Měřicí funkce	23
5.6. Funkce kontroly poruchy pojistek	24
5.7. Funkce kontroly proudového obvodu	24
5.8. Vstupy a výstupy	24
6. Nastavení a měření na ochraně transformátoru RET630	25
6.1. Funkční blok sběru analogových proudů primární a sekundární strany transformátoru SMAI_20_1 a SMAI_20_2	25

6.3.	Funkční blok třífázové měřící funkce proudu primární a sekundární strany transformátoru CMMXU	26
6.5.	Funkční blok rozdílové ochrany transformátoru TR2PTDF	26
6.6.	Vypínací logika TRPPTRC.....	27
7.	Zapojení ochrany RET630 do fyzikálního modelu vývodu	28
7.1.	Napájení úlohy	28
7.2.	Trojfázový autotransformátor	28
7.3.	Spínačové pole	29
7.4.	Ochrana RET630.....	29
7.5.	Chráněný transformátor	30
7.6.	Zátěž na transformátoru.....	31
7.7.	Modul poruch	32
8.	Vypracování návodu měření a vzorového protokolu	33
8.1.	Návod měření	33
8.1.1.	Elektrické schéma zapojení úlohy	33
8.1.2.	Návod zapojení svorkovnic přístrojů laboratorní úlohy	34
8.1.2.	Nastavení převodu měřícího transformátoru.....	37
8.1.3.	Nastavení funkčního bloku diferenciální ochrany TR2PTDF	37
8.1.4.	Teoretický rozbor rozdílové ochrany v RET630 (funkční blok TR2PTDF)	39
8.2.	Vzorový protokol.....	43
8.2.1.	Zadání	43
8.2.2.	Postup měření.....	43
8.2.3.	Schéma	44
8.2.4.	Tabulky	45
8.2.6.	Grafické vyhodnocení.....	46
8.2.7.	Seznam použitých přístrojů	47
8.2.8.	Závěr	47
9.	Závěr.....	48
	Seznam použité literatury	49

1. Úvod

Cílem této práce je navrhnout a realizovat měřicí úlohu pro studenty bakalářského studia pro předmět Elektrárny. Samotná úloha má být měřena v laboratoři EB015, FEI, VŠB – TUO. Zde se nacházejí laboratorní stoly s modelem rozvodny vysokého napětí, ve kterém jsou zabudovány ochrany RET630 a REF630, které byly dodány od firmy ABB s.r.o.

Pro ochranu REF630 již v minulosti byly sestaveny dvě úlohy. Na druhou stranu pro RET630 doposud nebyla navržena žádná úloha pro měření chránění transformátoru. Z tohoto důvodu byla vytvořena tato práce, jejíž cílem je nastudovat ochranu RET630, vytvořit zapojení úlohy a odzkoušení úlohy tak, aby se v dalším roce dala použít pro výuku.

Tato práce na začátku popisuje obecné rozdělení ochrany a poruch v elektrizačních soustavách vn a vvn. Dále je popsáno rozdělení základních a dodatkových ochrany vývodů transformátoru s dopodrobně rozepsaným principem diferenciální ochrany a samotné ochrany RET630, která je hlavní náplní této práce.

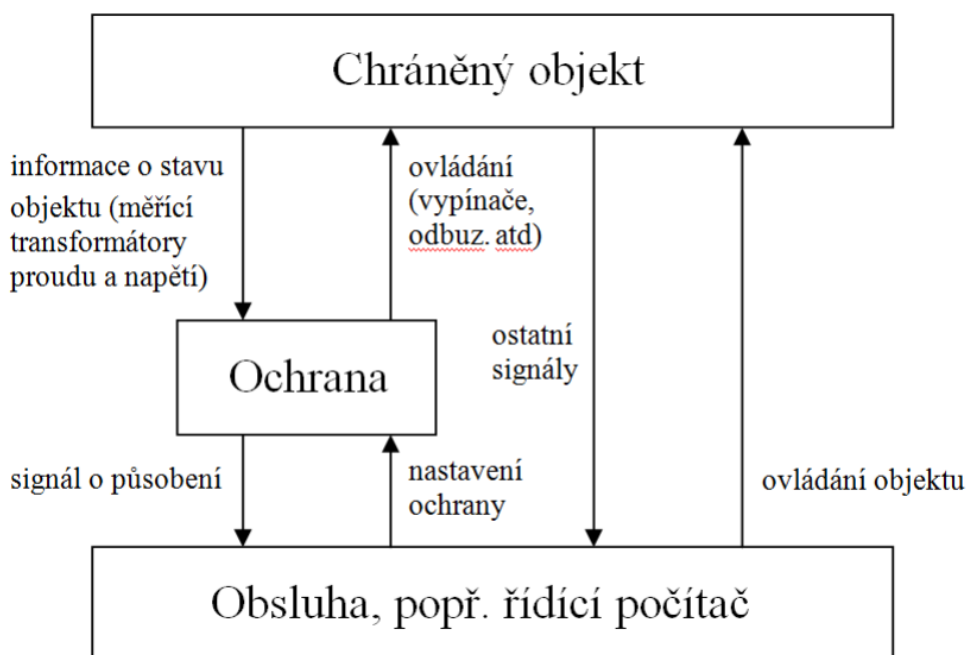
V praktické části se práce věnuje tvorbě měřicí úlohy, popis jejího zapojení a odměření. Prvním bodem bylo ujasnění si funkcionality ochrany RET630 a princip diferenciální ochrany. Protože se v minulosti nikdy nevyužila, tak bylo potřeba vytvořit konfiguraci ochrany RET630 od počátku. Cílem této práce je seznámit studenty s moderní aplikací digitální diferenciální ochrany. V minulosti byly ochrany tvořené mechanicky, ovšem v dnešní době se vše řeší elektronicky, tudíž primární zaměření ochrany je v logice vypínání, a ne v mechanickém zapojení.

V poslední části se práce zabývá tvorbou návodu k měření. Ten obsahuje informace o zapojení, nastavení jednotlivých funkčních bloků ochrany a postupu měření. Na závěr byl vypracován vzorový protokol měřené úlohy, který bude k dispozici vyučujícímu pro hodnocení studentů.

2. Elektrické ochrany ve vn a vvn síti

2.1. Základní pojmy

Ochrana je zařízení, které monitoruje chod určité části energetického systému, například transformátoru, generátoru, venkovního vedení apod. Pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, nebo také čidel získává ochrana informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Na Obr. 1 je nakresleno připojení ochrany k danému chráněnému objektu a také je zde naznačena jejich vzájemná spolupráce. Informace o měřených hodnotách proudu a napětí je zpracovávána ochranou. Ta musí rozpoznat, zda se chráněný objekt nachází v mezích normálního stavu nebo jedná-li se o poruchový stav.^[1]



Obr. 1 Komunikace mezi obsluhou, ochranou a chráněným objektem

V případě, kdy nastane poruchový stav uvnitř chráněného objektu, ochrana zamezí havárii chráněného zařízení vypnutím, odbuzením apod. Ochrana také vyšle signál o působení pro obsluhu. Obsluha má možnost upravovat nastavení ochrany, například měnit její citlivost nebo délku požadovaného zpoždění.^[1]

Dnes se pro chránění vvn sítí využívají ty samé ochrany jako pro sítě vn, ovšem ochrany pro vvn sítě jsou podstatně komplikovanější, než vn. Tato komplexnost je způsobena požadavky na ochrany. Cena také hraje svoji roli, čím vyšší napětí, tím dražší zařízení.

Rozvaděče jsou umístěny na vn i vvn stranách velkých výkonových transformátorů. Rozvaděče na vn straně transformátorů mohou být umístěny v budově s vypínači vysokého napětí pro distribuční obvody, společně s měřicími, regulačními a ochrannými zařízeními. Pro průmyslové aplikace lze sestavu transformátorů a rozváděčů kombinovat do jednoho krytu, který se nazývá jednotková rozvodna.

2.2. Vn Rozvaděče

Rozváděčový systém, který je schopen manipulace mezi 1kV a 52kV, se označuje jako rozváděč vysokého napětí. Ty existují v mnoha typech, jako jsou mimo jiné kovově uzavřené venkovní typy, kovově uzavřené vnitřní typy a mimo jiné i venkovní typ bez kovového krytu.

Vypínacím médiem těchto rozváděčů může být plyn SF₆, olej a vakuum, přičemž hlavním požadavkem je, aby se přerušila dodávka proudu v energetické síti, kdykoli dojde k poruchové situaci bez ohledu na typ vypínače., který používá rozváděčový systém vn.

Vysokonapětový rozvaděč by měl být schopen vykonávat následující funkce:

- Přerušování zkratového proudu
- Vypínání kapacitních proudů
- Vypínání induktivních proudů
- Standardní funkce zapnutí / vypnutí
- Další speciální aplikace

Všechny uvedené funkce musí být prováděny s vysokou mírou spolehlivosti a bezpečnosti.

2.3. Speciální aplikace Rozvaděčů vn

Obloukové pec

U obloukové pece se vyžaduje časté vypínání a zapínání. Proud, který se zapíná a vypíná, nabývá 0 až 8krát hodnoty jmenovitého proudu pece. Oblouková pec, se má zapínat a vypínat při normálním jmenovitém proudu do 2000 A, přibližně 100krát denně. Normální jistič s plynem SF₆, vzduchem a jistič s olejem není pro tento častý provoz ekonomický. Standardní vakuový vypínač je nejvhodnější alternativou pro tento častý provoz vypínače s vysokým proudem.

Železniční traťový systém

Další aplikací rozvaděčů vysokého napětí je jednofázový železniční traťový systém. Hlavní funkcí vypínače spojeného s železničním trakčním systémem je přerušit zkrat na systému trakčního vedení, který se vyskytuje často a má přechodnou povahu. Proto by jistič používaný pro tento účel měl mít krátkou vypínací dobu pro malou kontaktní mezeru, krátkou dobu oblouku a rychlé přerušování, vakuový vypínač je nejlepším možným řešením.

Ve skutečnosti elektrická energie oblouku je mnohem vyšší v jednofázových vypínačích než ve 3fázových. Ve vakuovém vypínači je dále mnohem nižší než u konvenčního vypínače. Počet zkratů vyskytujících se v nadzemním trolejovém rozvodném systému je mnohem vyšší než v případě elektrického přenosového systému. Vysokonapětový rozvaděč s vakuovým vypínačem je tak nejvhodnější pro trakční aplikace.

2.4. VVN Rozvaděče

Napájecí systém pracující s napětím nad 52kV, je označován jako systém velmi vysokého napětí. Protože je úroveň napětí velmi vysoká, vznikají také velmi vysoké obloukové proudy během přepínání. Při navrhování vvn rozvaděčů je proto třeba věnovat zvláštní pozornost odolnosti proti obrovským zkratovým proudům.

Jistič velmi vysokého napětí, je hlavní součástí vvn rozváděče, proto by vvn jistič měl mít speciální funkce pro bezpečný a spolehlivý provoz. Chybné vypínání a spínání vvn obvodů jsou velmi vzácná. Většinu času zůstávají tyto vypínače v sepnutém stavu a jejich provoz může být vyžadován až po dlouhé době v bez činnosti. Vypínače tedy musí být dostatečně spolehlivé, aby zajistily bezpečný provoz, jak je požadováno.

Technologie vypínače velmi vysokého napětí se za posledních 15 let radikálně změnily. Pro vysokonapěťové rozváděče se většinou používají minimální olejové jističe, vzduchové proudové chrániče a spínače SF₆.

Vakuový vypínač se za tímto účelem používá jen zřídka, protože do dnešní doby není vakuová technologie pro přerušení velmi vysokého napětí zkratového proudu dostatečná. Existují dva typy spínačů SF₆, jedno tlakový spínač SF a dvou tlakový spínač SF.

Jedno tlakový systém je v současné době nejmodernějším zařízením pro rozváděčový systém vvn. V poslední době se plyn SF₆ jako médium pro zhasnutí oblouku stal nejoblíbenějším pro systémy velmi vysokého napětí. Jelikož plyn SF₆ má 23krát silnější dopad na skleníkový efekt než CO₂, je třeba zabránit úniku SF₆ v průběhu životnosti spínače. Aby se minimalizovaly emise plynů SF₆, v budoucnu mohou být použity například v jističích jako náhrada čistého SF₆ směs plynů N – SF₆ a CF – SF₆. Na jednu stranu se vždy musíme ujistit, že žádný plyn SF₆ neuniká do atmosféry během údržby spínačů. Na druhou stranu, spínače SF₆ mají hlavní výhodu v nízké údržbě.

Rozváděče velmi vysokého napětí jsou klasifikovány jako,

1. Plynem izolovaný vnitřní typ.
2. Vzduchem izolovaný venkovní typ.

Vzduchem izolované jističe jsou dále klasifikovány jako:

1. Proudový spínač v izolované nádobě
2. Proudový spínač v nádobě na potenciálu

U vypínačů v izolované nádobě je umístěno spínací zařízení s vhodnou podpěrrou izolátoru uvnitř kovové nádoby (nádob) a je připojeno na zemní potenciál naplněný izolačním médiem.

U vypínačů v nádobě na potenciálu jsou přerušovací zařízení umístěna v izolované sběrnici, na potenciálu systému.

V izolované nádobě je vypínací jednotka (spínač) umístěna v izolačním pouzdru, které je pod napětím sítě (nebo nějakým nadzemním napětím). Proudové vypínače v nádobě na potenciálu jsou levnější než v izolované nádobě, a navíc vyžadují méně montážního prostoru. Ve vypínači v nádobě na potenciálu jsou spínače umístěny v izolované sběrnici, na potenciálu systému.

V těchto nádržích je spínací jednotka umístěna v kovové nádobě, která udržuje zemní potenciál. Protože jsou vstupní / výstupní vodiče vedeny izolovanými pouzdry, je možné na ně umístit proudové transformátory.

Existují tři hlavní typy vypínačů, které se používají ve vvn spínacích systémech, tj. vakuový vypínač, jističe SF₆ a olejový vypínač. Vakuový vypínač se používá jen zřídka.

Základní funkce, které musí být poskytnuty ve vypínačích velmi vysokého napětí, aby byl zajištěn bezpečný a spolehlivý provoz vypínacích prvků ve vvn rozváděčích, musí být možné bezpečně provozovat pro:

1. Poruchy terminálu (přerušené přívody, uvolněná připojení)
2. Poruchy krátkého kabelu
3. Magnetizační proud transformátoru nebo reaktoru.
4. Nasycení dlouhých přenosových vedení.
5. Nabíjení kondenzátorové banky.
6. Přepínání mimo fázový sled

2.5. Požadavky kladené na ochrany

Provoz energetické soustavy klade na ochrany určité požadavky. Podle toho, jak je ochrana splňuje, lze hodnotit její jakost a tím i vhodnost použití pro daný objekt. Obecně nelze určit, který z požadavků je důležitější než jiný. To záleží na druhu chráněného objektu, na způsobu provozu i na okolní soustavě.^[5]

Mezi základní požadavky, které jsou na ochrany kladeny:

Spolehlivost

Spolehlivost ochrany znamená, že při bezporuchovém provozu nesmí ochrana samovolně působit. Naopak při poruše nesmí selhat. S tím souvisí také odolnost ochrany proti otřesům, agresivnímu prostředí, vnějším magnetickým a elektrickým polím apod. Ochrana by měla být konstruována jednoduše se snadnou údržbou.

Termín spolehlivost má široký význam a může odkazovat na různé aplikace ve stejném systému. Spolehlivost systému odkazuje na správnou činnost s plným výkonem a bez selhání.^[6] Spolehlivost je tedy ovlivněna několika faktory a může být ovlivněna úkony jako je plánování, údržba a provoz nebo neovlivnitelná vlivem nepředvídaných událostí, jako jsou bouře nebo nehody.

Pro současné hlavní předpisy je pojem spolehlivost při distribuci elektřiny spojena s přerušením v dodávkách energie, která může být dočasná (krátkodobá) nebo trvalá.^[7] Toto lze považovat za podskupinu poruch, které ovlivňují kvalitu energie. Hlavními poruchami, které ovlivňují kvalitu, mohou být změny frekvence, šum, přechodové jevy, harmonické zkreslení, dočasná změna amplitudy napětí a přerušení provozu.^[8]

Selektivita

Selektivita je schopnost ochrany vypínat pouze daný prvek soustavy na němž vznikne porucha a nereagovat na poruchy, které se vyskytnou mimo chráněný objekt, nebo se týkají stavové veličiny objektu, na kterou nemá ochrana působit. Její smysl je v tom, že je vypínán pouze minimální úsek energetické soustavy postižený poruchou, přičemž zůstane v provozu co největší část nepoškozené soustavy.

Pro správnou ochranu elektrického systému musí být kromě používání příslušných zařízení věnována pozornost postupnosti provozu těchto zařízení. To je nutné vzhledem ke skutečnosti, že ve stejné síti existuje několik zařízení a pokud tento sled operací nesouhlasí, dojde k odpojení nepřiměřených zátěží, což ohrožuje spolehlivost systému a může negativně ovlivnit indikátory kontinuity systému z hlediska energetického užítku-

Nejprve se vyhodnotí selektivita, která se týká citlivosti ochranných zařízení. Tato potřeba vyvstává, protože kromě přerušovacích kapacit zařízení musí být synchronizována, aby fungovala při minimálním zkratu a současně umožňovala normální zátěžový proud.^[9]

V dalším kroku, týkající se koordinace, se vyhodnocuje posloupnost činnosti zařízení kromě těch, které jsou senzibilizovány pro chyby proti proudu. Tento proces hledá nejlepší sled výkonu zařízení a snaží se minimalizovat oblast postiženou chybou. Aby byla zajištěna správná posloupnost, jsou použita určitá kritéria v závislosti na typu použitého zařízení.^[9]

Rychlost

Rychlost ochrany je dána dobou působení. Velká rychlost ochrany snižuje nároky na dimenzování chráněného objektu a tím omezuje nebezpečné následky poruch. Rychlým vypnutím se zmenšuje nebezpečí tepelného poškození vodičů a izolace při zkratech. Rozsah následků poruchy nutně závisí na rychlosti působení ochrany. Existují také nenormální stavy, které jsou krátkodobé a zaniknou samy. U těchto případů je nežádoucí rychlé působení.

Většina poruch napájecího systému je odstraněna běžnou ochranou provoz systému. Dva hlavní časy při odstraňování chyby jsou:^[8]

1. Doba detekce poruchy, definovaná jako doba od počátku poruchy do okamžiku, kdy se sepne kontaktní relé inicializující vypnutí jističe. Toto je skladba provozní doby ochrany, která zahrnuje: zpoždění způsobené – ochranným relé, komunikačními kanály a pomocnými relé (pokud jsou použita).
2. Čas přerušení poruchového proudu, definovaný jako čas od okamžiku, kdy je zapnuta cívka jističe do okamžiku, kdy je primární proud úplně přerušen. Tento čas se považuje za dobu přerušení jističe, což je součet otevření a zapnutí jističe.

Dnešní jističe zajišťují dva cykly přerušení. Moderní digitální kanály mají latenci kolem 1 milisekundy pro digitální kanály a čtvrt až půl cyklu pro analogové a síťové kanály. Provozní doby relé se liší v závislosti na systému a poruchových stavech, ale jsou obvykle mezi jedním cyklem a jedním a půl cyklem.^[8]

Citlivost

Citlivost ochrany je schopnost spolehlivě rozlišovat poruchy uvnitř chráněného objektu od poruch mimo něj. Musí být dostatečně přesná.

U zemní ochrany je důležitější citlivost než rychlost. Citlivost i na malé zemní proudy je nutná pro indikaci zemního spojení. Rychlost se nevyžaduje, neboť k odpojení vadného úseku vedení dojde až po zajištění náhradního napájení. Naopak zkratová ochrana krátkého kabelu s velkými zkratovými proudy nemusí být citlivá. Zkratové proudy jsou mnohem větší než provozní. Aby nedošlo k poškození kabelu, požadujeme rychlé působení ochrany a vypnutí zkratu.^[5]

Objektivita

Objektivita ochrany souvisí s algoritmem ochrany. Z hlediska objektivity rozeznáváme ochrany autonomní a objektivní. Autonomní ochrana má algoritmus řešený takový způsobem, že je optimální jenom z úzkého hlediska chráněného objektu, které je dané omezeným množstvím vstupních informací. Algoritmus objektivní ochrany řeší poruchovou situaci z hlediska celé soustavy, nebo alespoň části soustavy. Může připustit částečné poškození chráněného objektu, když tím zabrání větším škodám v celé soustavě.^[8]

Kompatibilita

Kompatibilita ochran s ostatní řídicí technikou objektu znamená použití obdobné konstrukce, technologie a principů. Jejimi výhodami jsou například jednodušší vzájemný přenos signálu, jednotné projektování a uvádění zařízení do provozu nebo také obdobné náhradní díly. Mezi další požadavky můžeme také jmenovat kupříkladu snadnou údržbu, životnost ochrany, přesnost ochrany nebo také miniaturizaci ochran.^[8]

2.6. Rozdělení elektrických ochran

Ochrany dělíme:^[2]

a) Podle druhu chráněného objektu na ochrany:

- Generátoru
- Motoru
- Transformátoru
- Přípojnic
- Vedení
- Speciální

b) Podle druhu poruchy na ochrany:

- Zkratové
- Proti přetížení
- Podpět'ové
- Přepět'ové
- Podfrekvenční
- Nadfrekvenční
- Při zemním spojení
- Při zpětném toku výkonu
- Při ztrátě buzení
- Při nesouměrnosti

c) Podle doby působení na ochrany:

- Mžikové
- Časově závislé
- Časově nezávislé

d) Podle konstrukce na ochrany:

- Elektromechanické
- Statické
- Digitální

e) Podle funkčního principu a stavové veličiny na ochrany:

- Proudové
- Napět'ové
- Distanční
- Rozdílové
- Srovnávací
- Wattové
- Jalové
- Frekvenční
- Při nesouměrnosti

3. Chránění vývodu transformátoru

Tato kapitola se zaměřuje na rozdělení ochran transformátorů na základní a doplňkové a rámcově představuje jejich vlastnosti. Dále se tyto ochrany transformátoru dělí podle velikosti přenášeného výkonu.

Detailní rozdělení rozdílových ochran bude v následující kapitole.

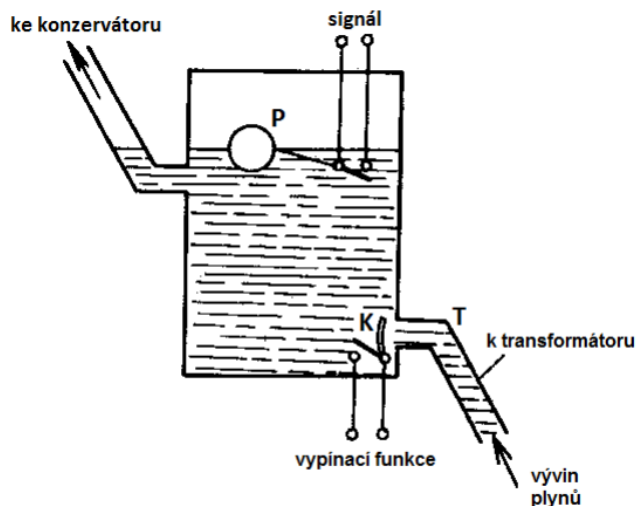
3.1. Základní ochrany transformátoru

Základní ochrany jsou připojené přímo na vynutí transformátoru, které provádějí přímé měření veličin a vyznačují se rychlým působením při vnitřních poruchách. Mezi tyto ochrany patří plynové relé, nádobová ochrana a rozdílová ochrana.

Vnější zkratky mimo transformátor musí vypínat jim příslušná ochrana, avšak při jejím selhání může dojít k přílišnému přetížení transformátoru průchozím proudem. Z toho důvodu se základní ochrany doplňují o ochranu záložní, která působí se zpožděním nutným pro dodržení selektivního vypínání.^[4]

Plynové relé

Plynové relé se používá pro ochranu transformátorů s olejovým chlazením. Lze se setkat i s jeho druhým názvem, Buchholzovo relé. Vkládá se do potrubí mezi víko transformátoru a konzervátor. Jeho princip je zobrazen na Obr. 2. V normálním provozu je relé naplněno olejem. Vnitřní porucha transformátoru, která vyvolá rozklad a destilaci transformátorového oleje vlivem tepla oblouku nebo ohřátého vodiče, vede k náhlému vzniku plynů, které způsobí zrychlení proudění oleje v trubici T. Klapka K reaguje na rychlý vznik plynů a proudění oleje směrem ke konzervátoru při vnitřních zkratech, což vede k propojení vypínacího obvodu. Plovák P indikuje nebezpečné snížení hladiny oleje a slouží k signalizaci, že došlo k pomalému vývinu plynů.^[1, 2]



Obr. 2 Princip plynového relé

Zemní nádobová ochrana

Pro účinně uzemněné transformátory. Působí na zemní proud procházející kostrou transformátoru například při přeskoku na průchodce nebo jiném zkratu či zemním spojení. Transformátory s touto ochranou jsou umístěny na izolované kolejnice. Kostra transformátoru se zemí je spojena přes přístrojový transformátor proudu, který má připojen na sekundární straně proudovou ochranu. Aby ochrana působila správně, musí být příводы k těmto zařízením protáhnuty průvlakovým přístrojovým transformátorem proudu. Malý izolační odpor nádoby může způsobit chybné zapůsobení.^[2]

Tepelná ochrana

Transformátorový olej, nebo minerální olej poskytuje dvě funkce v transformátoru pro účely izolace a chlazení. Z tohoto důvodu je důležité udržet dobrou kvalitu tohoto minerálního oleje. Pokud je chladicí schopnost minerálního oleje snížena, pak hrozí problém s izolováním transformátoru a tím vznikající problémy v transformátoru. Hlavní příčinou snížení kvality transformátorového oleje je zvýšení teploty minerálního oleje. Transformátorové jádro a vinutí je hlavním zdrojem nárůstu teploty transformátor. Když se zatížení transformátoru zvyšuje, zvyšuje se také proud vinutím transformátoru.^[10]

Takto zvýšený proud vinutím transformátoru vytváří odporovou ztrátu vinutí transformátoru. Se zvyšováním proudu v transformátoru se zvýší i ztráty ve vinutí. Vzhledem k těmto ztrátám dochází k tvorbě tepla, rychlost nárůstu tepla transformátoru je přímo úměrná proudu, který protéká vinutím transformátoru. Proto je nutné kontrolovat teplotu minerálního oleje. Při stavu na prázdko nedochází ke ztrátám na zátěži, to znamená, že vznikají ztráty vířivých proudů, které jsou přítomny v jádru transformátor. V důsledku toho se teplota minerálního oleje zvyšuje a izolační vlastnosti minerálního oleje klesají.^[10]

Pravděpodobnost výskytu poruchy v transformátoru je mnohem menší než u rotujících zařízení, protože transformátor je statické zařízení. Přestože je možnost poruchy vzácná, pokud dojde k malým poruchám, musí být transformátor rychle odpojen od systému. Pokud náhodná chyba není rychle odstraněna, tak se může rozvinout do závažných poruch, které mohou být pro transformátor velmi závažné, a proto transformátorům musí být zajištěna ochrana proti možnému poruše. Pro takové případy je použití malých pojistek je velmi běžné v případě malých distribučních transformátorů.^[10]

Rozdílová ochrana

Tato ochrana bude podrobně rozebrána v kapitole 4.

3.2. Doplnkové ochrany transformátoru

Nadproudová ochrana

Lze použít trojfázovou zpožděnou nadproudovou ochranu. Při použití na primární straně transformátoru se ochrana doplňuje blokováním ze sekundární strany, aby byla zajištěna selektivita. Často se využívá směrová zkratová ochrana na sekundárních i primárních stranách transformátorů, kde jsou zdroje významných zkratových příspěvků. Používají se i distanční ochrany.

Zkratová ochrana transformátoru

Lze užít trojfázovou nadproudovou ochranu. Zvýšení její citlivosti docílíme podpětovým blokováním. Koordinaci s ostatními ochranami poskytuje časový článek. Tento typ ochrany může působit v rychlém stupni při blízkých zkratech, kdy je napětí zkratové smyčky nízké. Při vzdálených zkratech, a tedy při vyšších napětích, je ochrana blokována. Používá se jako záloha pro rozdílovou ochranu.

Distanční a směrová ochrana

Distanční ochranu používáme, požadujeme-li ještě větší selektivitu, než nám poskytne ochrana proudová zkratová. Obvykle pomocí ní chráníme transformátory velkých výkonů vvn/vvn. Distanční a směrová ochrana se využívá při chránění transformátorů v mřížových sítích, kdy se využívá jejich směrového působení. Zkrat v mřížové síti může být napájen ze sítě vn i nn. Proto se k jističi na straně nn instaluje distanční ochrana se směrovým působením. Na straně vn má chráněný transformátor pojistky.^[5]

3.3. Výkonové dělení ochran transformátorů

Malé transformátory do výkonu cca 1 MVA

Malé transformátory se proti poruchovým zkratům jistí výkonovými pojistkami pro vysoké napětí. Zároveň se doporučuje používat pojistky s indikací působení. Pro signalizaci se v případě jistění transformátoru pojistkami používají plynová relé.

Je-li transformátor vybaven na primární straně vypínačem, využívá se pro jeho chránění nadproudová ochrana a plynové relé se zapojením na vypínač. Transformátory vn/nn jsou na straně nízkého napětí jistěny proti přetížení jističi s tepelnými a zkratovými články.

Střední transformátory s výkonem cca od 1 MVA do 8 MVA

Transformátory o výkonech v rozmezí 1 až 8 MVA se nejčastěji jistí plynovým relé, nadproudovou ochranou proti přetížení se signalizací přetížení, proti zkratům pak nadproudovou ochranou a ve zvláštních případech i rozdílovou ochranou.

Středními transformátory se nejčastěji rozumí vn/nn a vn/vn výkonové transformátory.

Velké transformátory s výkonem nad 10 MVA

Jako ochrana pro transformátory o jmenovitém výkonu nad 10 MVA se využívá nadproudová ochrana proti přetížení a pro signalizaci přetížení, případě plynové relé. Při vyšších výkonech do 20 MVA jde většinou o zapojení vn/vn a nad 20 MVA jde o transformátory vvn/vn, kdy se používá rozdílová ochrana.

Pro menší výkony ji však můžeme použít, chceme-li např. docílit rychlejšího vypnutí, aby se předešlo ohrožení spojovacího vedení mezi transformátorem a rozvodnou. Transformátory vvn/vvn bývají vybaveny zemní nádobovou ochranou.

Další možnost ochrany je nadproudovou časově nezávislou ochranou. Na straně nižšího napětí (většinou 110 kV) u transformátorů vvn/vvn je doporučeno použití ochrany distanční působící v obou směrech, která je do přípojníc bez rychlého stupně. Pokud jsou zdroje na obou stranách, používá se distanční ochrana na primáru i na sekundáru.^[4]

3.4. Obecně poruchy transformátoru rozdělujeme do dvou skupin

Průchozí poruchy (vlivem připojených zařízení)

Vnitřní poruchy (přímo na transformátoru)

Průchozí poruchy – mají delší dobu působení, způsobují zvýšení teploty, máme dva typy těchto poruch:

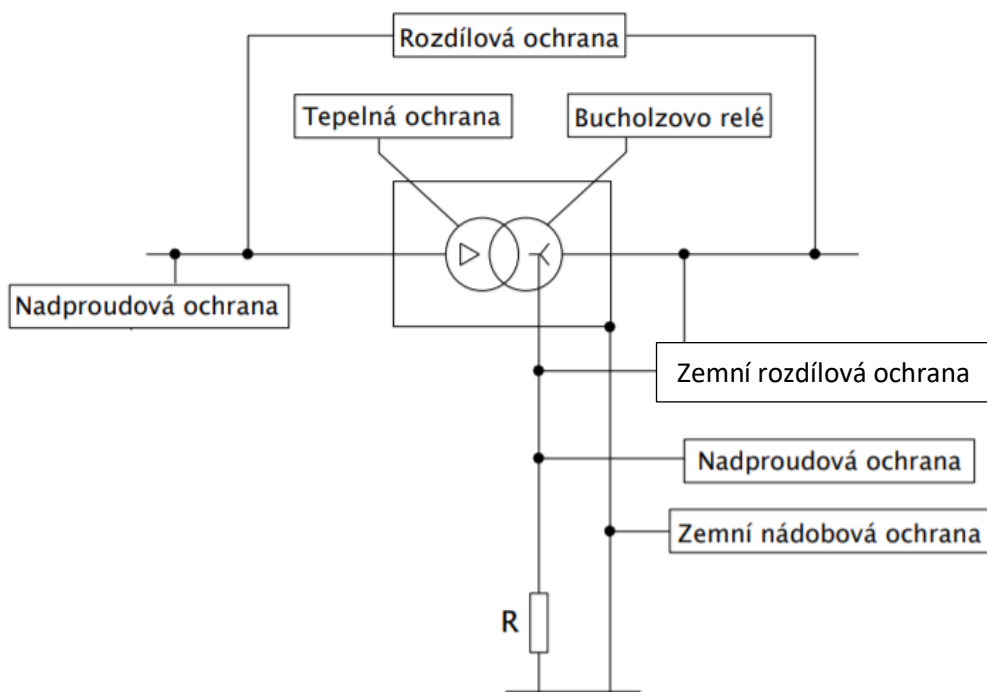
- a) Přetížení – tento poruchový stav měříme nadproudovou ochranou (závislá ochrana)
- b) Vnější zkrat na připojeném objektu – tento poruchový stav měříme nezávislou nadproudovou ochranou

Vnitřní poruchy – máme dvě skupiny:

- c) Náhlé – zkraty na svorkách, zkraty na vinutí, zkraty mezi vinutími, zkraty vinutí na nádobu
- d) Pozvolné – špatné galvanické styky, špatná izolace plechů, mikro oblouky v nádobě transformátoru, poruchy chlazení ^[2]

4. Druhy ochrany vývodů transformátorů

Tato kapitola se zaměřuje na druhy poruch vývodů transformátorů a způsob jejich chránění. Tato práce se zabývá rozdílovou ochranou transformátoru RET630, proto v této kapitole podrobně rozebere dva druhy rozdílových ochrann, zemní rozdílovou ochranu a klasickou rozdílovou ochranu.^[1]



Obr. 3 Zobrazení zapojení jednotlivých ochrann transformátoru

4.1. Poruchy transformátoru a jejich chránění

Zemní poruchy

Porucha vinutí transformátoru bude mít za následek proudy, které závisí na zdroji, uzemňovací impedanci, reaktanci transformátoru a poloze poruchy ve vinutí. Propojení (zkrat) vinutí také ovlivňuje velikost poruchového proudu.

Reaktivita klesá, čím více se porucha blíží neutrálnímu bodu. Výsledkem je, že poruchový proud je nejvyšší pro poruchu blízkou uzemněnému bodu. V případě poruchy vinutí zapojeného do trojúhelníku je rozsah poruchového proudu menší než rozsah při vinutí připojeného do hvězdy, přičemž skutečná hodnota je regulována metodou uzemnění používanou v systému.^[11]

Poruchy jádra

Poruchy jádra způsobené poruchou izolace mohou umožnit tok vířivého proudu, který způsobí přehřátí, které může dosáhnout velikosti dostatečné k poškození vinutí.

Zkratky ve vinutí

Poruchy mezi fázemi se vyskytují vzácně, ale budou mít za následek značné proudy o velikosti podobným zemním poruchám.

Zkrat mezi vinutím a nádobou

Poruchy nádrže vedoucí ke ztrátě oleje snižují izolaci vinutí a způsobují abnormální zvýšení teploty.

Vnější poruchy

Kromě poruchových stavů uvnitř transformátoru existují další poruchy způsobují abnormální stavy způsobené vnějšími faktory, které negativně zatěžují transformátor.^[11]

Tyto poruchy zahrnují:

- Přetížení
- Poruchy systému
- Přepětí
- Podfrekvenční provoz

4.2. Rozdílová ochrana

Rozdílová ochrana (Obr. 3) je hlavní náplní této práce a její vypínací charakteristiky budou měřeny v laboratoři EB015 na modelu rozvodny vysokého napětí. Naším cílem je naprogramovat ochranu RET630 tak aby byla připravena pro přímé měření rozdílových proudů na transformátoru, ze kterých se počítá jejich rozdíl, na základě čehož daná ochrana pozná, jestli je na primární straně transformátoru zkratový proud, nebo ne.

Pokud dojde k poruše a změření rozdílového proudu, který překročí hodnotu nastaveného v ochraně RET630, pak dojde k odpojení objektu (v našem případě sepnutí spínačového pole) na primární i sekundární straně.

Popis normálního provozu:

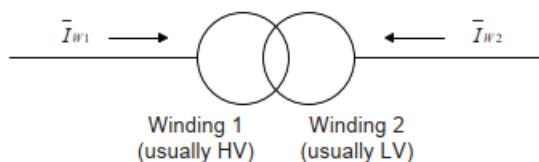
$$\Delta I = \left| \sum_{j=1}^K \bar{I}_j \right| = 0 \quad (1)$$

Rovnice (2) vychází z 1. Kirchhoffova zákona. Při poruše platí:

$$\Delta i = \left| \sum_{j=1}^K \bar{I}_j \right| > 0 \quad (2)$$

Zvýšení rozdílového proudu Δi nad nastavenou hodnotu ochrany ∞i (dovolený rozdílový proud) způsobí odpojení chráněného objektu na obou koncích od sítě. Zapnutí transformátoru způsobí proudové rázy $6 - 10 I_n$, to na rozdílovou ochranu působí jako vnitřní porucha, proto je třeba zajistit selektivitu pomocí blokování při zapínacím rázu. To je dnes nejčastěji realizováno filtrem druhé harmonické, která tvoří podstatnou část magnetizačního zapínacího proudu.^[12]

Poruchy v transformátoru uvnitř izolačního oleje mohou být detekovány Buchholzovým relé. Pokud ale dojde k nějaké poruše v transformátoru, která není v oleji, pak ji Buchholzovo relé nezjistí. Jakýkoli zkrat na pouzdru transformátoru není krytý Buchholzovým relé. Na druhou stranu, rozdílové ochranné relé tento typ poruch detekují rychleji.



Obr. 4 Proudý tekoucí do transformátoru

$$I_d = \left| \bar{I}_{W1} + \bar{I}_{W2} \right| \quad (3)$$

V normální situaci nenastane v oblasti chráněné TR2PTDF žádná porucha. Potom jsou proudy I_{W1} a I_{W2} stejné a diferenciální proud I_d (3) je nulový, jejich znázornění je na Obr 4. V praxi se však diferenciální proud v běžných situacích odchyluje od nuly. V ochraně výkonového transformátoru je diferenciální proud způsoben nepřesnostmi měřících transformátorů proudu CT, změnami polohy přepínače odboček (pokud nejsou kompenzovány), proudem bez zátěže transformátoru a okamžitými zapínacími proudy transformátoru. Zvýšení zátěžového proudu způsobuje, že diferenciální proud způsobený nepřesnostmi CT a pozicí přepínače odboček roste stejnou procentuální sazbou.

Při předpjatém diferenciálním IED v normálním provozu nebo při vnějších poruchách platí, že čím vyšší je zátěžový proud transformátoru, tím vyšší je rozdílový proud potřebný k vypnutí. Když dojde k vnitřní poruše, do které proudí proudy na obou stranách chráněného objektu. To způsobí, že stabilizační proud (4) je výrazně menší, což zapříčiní citlivější vypínání při vnitřních poruchách.

$$I_b = \frac{|\bar{I}_{W1} - \bar{I}_{W2}|}{2} \quad (4)$$

Pokud je stabilizační proud ve srovnání s diferenciálním proudem malý nebo pokud je fázový úhel mezi fázovými proudy vinutí 1 a vinutí 2 téměř nulový (v normální situaci je fázový rozdíl 180 stupňů), k chybě došlo zcela jistě v oblasti chráněné rozdílovým IED. Potom se provozní hodnota nastavená pro okamžitý stupeň vypínání automaticky sníží na polovinu a interní blokovací signály předpjatého stupně jsou potlačeny.^[12]

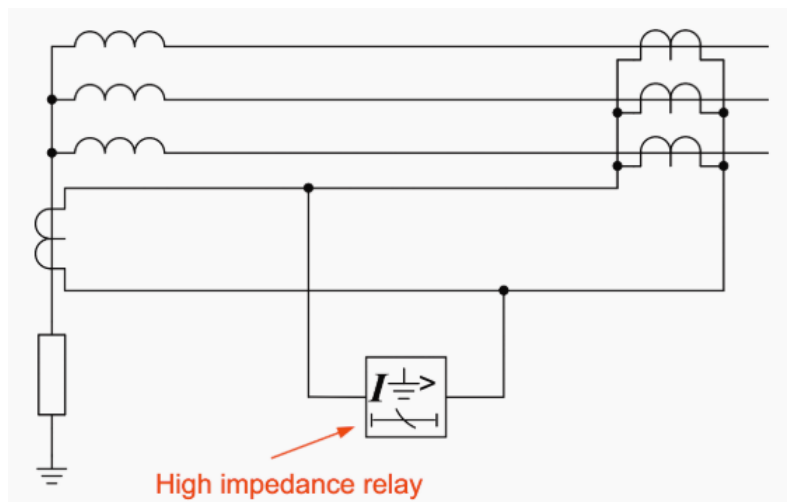
4.3. Zemní rozdílová ochrana

Konvenční ochrana proti zemnímu spojení pomocí nadproudových ochran neposkytuje dostatečnou ochranu vinutí transformátoru. To se týká zejména vinutí zapojeného do hvězdy s impedančním uzemněním.

Stupeň chránění se výrazně zvýší použitím zemní rozdílové ochrany (Obr. 3). Schéma zapojení ochrany na Obr. 5, je pro jedno vinutí transformátoru. Může to být typ s vysokou impedancí, jak je znázorněno na Obr. 7, nebo s nízkou impedancí a stabilizačním proudem.

Pro typ zapojení ochrany s vysokou impedancí je zbytkový proud tří síťových transformátorů proudu porovnán s výstupem proudového transformátoru v zemnicím vodiči. Ve verzi s nízkou impedancí se třífázové proudy a zemní proud stanou stabilizační vstupy diferenciálního prvku.

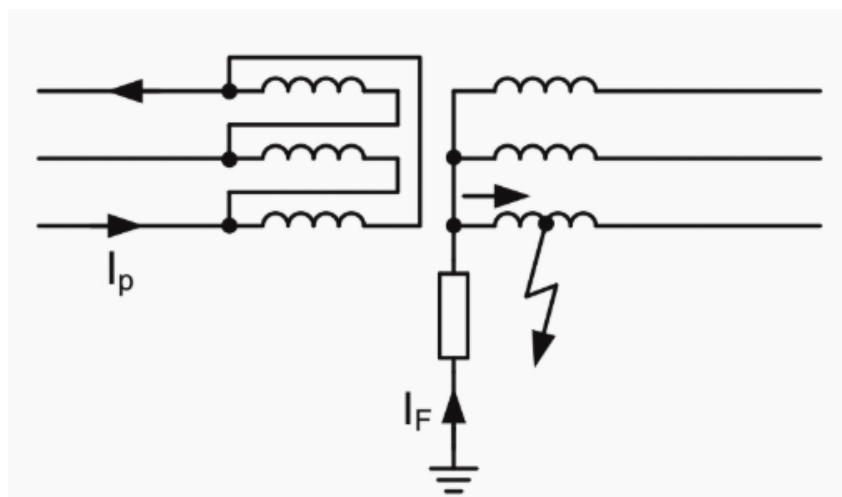
Systém je funkční pro poruchy v oblasti mezi proudovými transformátory, tj. Pro chyby na dotýcném vinutí zapojeném do hvězdy. Systém zůstává stabilní pro všechny chyby mimo toto pásmo.



Obr. 5 Zemní rozdílová ochrana pro vinutí zapojené do hvězdy

Zvýšení stupně ochrany přichází nejen při použití okamžitého relé s nízkým nastavením, ale také z toho důvodu, že se měří celý poruchový proud, nejen transformovaná složka v primárním vinutí vn (pokud je hvězdicové zapojení na sekundárním vinutím).

Toto je zásadní zlepšení ve srovnání s výkonem systémů, které neměří nulový proud vodiče.



Obr. 6 Zemní rozdílová ochrana s odporově uzemněným vinutím zapojeným do hvězdy

Ochrana proti zemnímu spojení aplikovaná pro zapojení vinutí do trojúhelníku, nebo pro neuzemněné hvězdicové vinutí je ze své podstaty značně omezena, protože žádný zemnicí proud nemůže být přenesený přes transformátor do ostatních vinutí.

Obě vinutí transformátoru mohou být v takovém případě chráněna zemní rozdílovou ochranou proti zemnímu spojení, čímž se poskytuje vysokorychlostní ochrana proti zemním spojení pro celý transformátor s relativně jednoduchým zařízením.^[12]

5. Popis ochrany transformátoru RET630



Obr. 7 Ochrana RET630

IED RET630 (IED = Inteligentní elektronické zařízení) (Obr. 8) je komplexní IED řízení transformátoru, které je určeno pro chránění, ovládání, měření a monitorování výkonových transformátorů, odbočkových a blokových transformátorů i výkonových transformátorů výrobních bloků v distribučních sítích energetických společností i v energetických systémech průmyslových podniků. RET630 je jedním z výrobků produktové skupiny Relion® firmy ABB a zároveň je i součástí produktové řady 630, která je charakterizována funkční všestranností a flexibilní konfigurovatelností. IED RET630 je také vybaveno potřebnými ovládacími funkcemi, které vytvářejí základ ideálního řešení pro řízení pole transformátoru i pro regulaci napětí transformátoru.

5.1 Aplikace

IED RET630 zajišťuje hlavní chránění dvou vinutových výkonových transformátorů a výkonových energetických bloků generátor – transformátor. K dispozici jsou dvě předdefinované konfigurace, které vyhovují typickým požadavkům na chránění a ovládání transformátorů. Předdefinované konfigurace je možné použít tak, jak jsou navrženy, lze je snadno přizpůsobit dané aplikaci, nebo je lze rozšířit o volně volitelné doplňkové funkce. Těmito funkcemi je možné IED přesně 'vyladit' a konfigurovat tak, aby splňovalo specifické požadavky vaší aktuální aplikace. Doplňková funkce regulace napětí je jedním z příkladů přídatných funkcí.

5.2 Před konfigurované verze RET630

IED řady 630 jsou nabízena s volitelnými a ve výrobním závodě nastavenými před konfigurovanými verzemi, které jsou určeny pro různá aplikační použití. Tyto před konfigurované verze mají menší nároky na inženýring IED a jejich uvedení do provozu je rychlejší. Nastavené konfigurace obsahují standardní funkce obvykle použité a potřebné pro specifické aplikace. Každou před konfigurovanou verzi IED lze upravit prostřednictvím nástroje PCM600 (Protection and Control IED Manager). Přizpůsobením příslušné předkonfigurované verze je možné IED konfigurovat tak, aby vyhovělo dané aplikaci.

Tato úprava před konfigurované verze IED může podle požadavků specifické aplikace zahrnovat doplnění nebo zrušení ochranných, ovládacích nebo i jiných funkcí, změnu standardního nastavení parametrů, změnu konfigurace standardně definovaných výstrah (alarmů) i změnu nastavení zapisovače změnových stavů (událostí), včetně změn textů zobrazených na rozhraní HMI, změnu konfigurace indikačních LED diod a funkčních tlačítek i modifikaci standardního jedno pólového schématu. Změna před konfigurované verze zařízení musí také vždy zahrnovat i komunikační inženýring, kterým je provedena úprava komunikace podle skutečné funkčnosti IED. Komunikační inženýring je prováděn konfigurací komunikačních funkcí nástrojem PCM600.

5.3 Ochranné funkce

IED RET630 je vybaveno diferenciální ochranou s mžikovým stupněm i se stabilizovaným stupněm, která zajišťuje rychlé a selektivní chránění při mezifázových poruchách, při mezi závitových zkratech a zkratech na průchodkách transformátoru, včetně většiny zemních poruch. Stabilita ochrany při zapnutí transformátoru je kromě blokování ochrany druhou harmonickou složkou zajištěna také moderním blokovacím algoritmem, který pracuje na principu vyhodnocení tvaru a průběhu zapínacího proudu.

Funkce blokování ochrany pátou harmonickou složkou zajišťuje stabilitu ochrany při mírném přesycení transformátoru.

Citlivá zemní ochrana s vymezenou zónou působení REF (Restricted Earth Fault) doplňuje celý systém chránění tak, že jsou detekovány i jednofázové zemní poruchy v blízkosti zemního (nulového) bodu transformátoru.

Pro chránění vinutí lze zvolit ochranu, která pracuje buď s klasickou vysoko impedanční logikou, nebo ochranu s číslicovou nízko impedanční logikou. Pokud je v aplikaci použita nízko impedanční REF ochrana, není nutné použít stabilizační odpory ani varistory (napětově závislé odpory) a další výhodou je skutečnost, že transformační převod transformátorů proudu v zemním (nulovém) bodu výkonového transformátoru může mít jiný převod, než mají fázové transformátory proudu. Díky blokovému (objektově orientovanému) charakteru REF ochrany není nutné tuto funkci začleňovat do logiky časového stupňování, a proto je možné u ochrany dosáhnout rychlého vypínacího času.

Ochrana proti přesycení je použita pro chránění generátorů a výkonových transformátorů proti nadměrnému magnetickému toku v jádrech a proti přesycení magnetických jader transformátorů. IED také obsahuje ochranu proti tepelnému přetížení, která brání rychlejšímu stárnutí izolace vinutí transformátoru.

U záložních zkratových ochran, nadproudových fázových ochran, ochran, které vyhodnocují zpětnou složku proudu, i u zemních ochran je pro obě vinutí transformátoru k dispozici několik samostatných funkčních stupňů. Záložní chránění proti fázovým zkratům zajišťuje třífázová pod

impedanční ochrana, která pracuje s hodnotami impedancí vyhodnocených z napětových a proudových fázorů. K dispozici je také přepětová zemní ochrana, která pracuje na bázi měřené, nebo vypočtené hodnoty nulové složky napětí. Aby bylo možné detekovat zpětný tok výkonu nebo cirkulující vyrovnávací proudy při paralelním chodu výkonových transformátorů, nabízí RET630 také směrovou nadproudovou ochranu. Kromě těchto funkcí jsou k dispozici nad frekvenční a pod frekvenční ochrana i ochrana při selhání vypínače.

5.4 Ovládání

IED je vybaveno funkcemi pro místní i dálkové ovládání a současně nabízí značný počet volně konfigurovatelných binárních vstupů / výstupů a logických obvodů, které umožňují vytvářet funkce ovládání pole rozvodny i funkce blokovacích podmínek pro vypínače a pohony ovládané spínače – odpojovače.

IED podporuje ovládání pole rozvodny v uspořádání jak s jednoduchou přípojnící, tak i s dvojitou přípojnící. Počet ovladatelných primárních prvků je závislý na počtu dostupných vstupů a výstupů v navolené konfiguraci IED.

Pro výměnu signálů mezi jednotlivými IED lze kromě možnosti obvyklého propojení signálů vodiči také použít systém přenosu zpráv GOOSE podle standardu IEC 61850-8-1, a tímto způsobem realizovat požadované blokovací podmínky ovládání. IED je navíc vybaveno funkcí kontroly synchronního stavu (Synchro check), která kontroluje, zda hodnoty napětí, fázového úhlu i frekvence na obou stranách spínaného prvku splňují definované podmínky pro bezpečné spínání dvou sítí.

5.5 Měřicí funkce

IED trvale měří fázové proudy strany vyššího napětí vvn i nižšího napětí vn a nulový proud (nulovou složku proudu), případně nulové proudy (nulové složky proudů) chráněného transformátoru. IED kromě jiného měří sousledné a zpětné složky proudů na obou stranách transformátoru a také měří fázová nebo sdružená napětí, souslednou i zpětnou složku napětí a nulové napětí (nulovou složku napětí).

IED kromě toho monitoruje činný, jalový i zdánlivý výkon, účinník, hodnotu odběru (spotřeby) energie za časový interval, který je volitelný a přednastavený uživatelem, stejně jako narůstající celkovou spotřebu činné a jalové energie v obou směrech.

IED také počítá hodnoty systémové frekvence a teploty transformátoru. Výpočty celkové i průměrné spotřeby jsou ukládány v energeticky nezávislé paměti IED. Vypočtené hodnoty je také možné získat prostřednictvím ochranných funkcí IED i funkcí IED, které monitorují provozní podmínky.

Měřené hodnoty jsou dostupné místně prostřednictvím uživatelského rozhraní na čelním panelu IED, nebo dálkově prostřednictvím komunikačního rozhraní IED. Místní i dálkový přístup k těmto hodnotám je také možný prostřednictvím uživatelského rozhraní, které pracuje na bázi internetového prohlížeče.

5.6 Funkce kontroly poruchy pojistek

Funkce kontroly poruchy pojistek (jištění) detekuje poruchy v úseku mezi obvodem měření napětí a IED. Poruchy jsou detekovány buď algoritmem, který pracuje na bázi vyhodnocení zpětných složek napětí a proudu, nebo algoritmem, který pracuje na bázi vyhodnocení rozdílu napětí a rozdílu proudu. V případě detekce poruchy je funkcí kontroly poruchy pojistek (jištění) aktivována výstraha (alarm) a proti nežádoucímu vypnutí jsou funkcí blokovány napěťově závislé ochranné funkce.

5.7 Funkce kontroly proudového obvodu

Funkce kontroly proudového obvodu je použita pro detekci poruch a chyb v sekundárních obvodech transformátorů proudu. Při detekci poruchy je možné funkcí kontroly proudového obvodu aktivovat výstražnou LED diodu (alarm) a blokovat určité ochranné funkce proti nežádoucímu vypnutí.

Funkce kontroly proudového obvodu počítá sumární hodnotu fázových proudů příslušné sady transformátorů a tuto hodnotu porovnává s referenční hodnotou jednoho proudu, která je měřena jedním součtovým transformátorem proudu, nebo s hodnotou odvozenou z fázových proudů jiné sady jader transformátorů proudu.

5.8 Vstupy a výstupy

Podle zvolené HW konfigurace je IED vybaveno šesti vstupy pro fázové proudy (tři vstupy pro stranu vyššího / vvn napětí a tři vstupy pro stranu nižšího / vn napětí) a jedním vstupem nebo dvěma vstupy pro nulový proud, které jsou určeny pro zemní ochranu. Podle zvolené HW konfigurace je IED vybaveno dvěma nebo třemi napěťovými vstupy. Jeden z těchto napěťových vstupů je možné použít jako vstup pro nulové napětí (pro měření nulové složky napětí), který je určen pro zemní směrovou ochranu nebo pro ochranu vyhodnocující nulovou složku napětí. Napěťové vstupy je také možné použít jako vstupy pro přepětovou ochranu, podpětovou ochranu, směrovou nad proudovou ochranu i ostatní napěťové ochranné funkce.

Vstupy pro fázové proudy mají jmenovitou hodnotu 1 / 5 A. Podle zvolené HW konfigurace je IED vybaveno jedním vstupem nebo dvěma vstupy pro nulový proud ve dvou alternativách, s jmenovitou hodnotou 1 / 5 A nebo 0,1 / 0,5 A. Vstup s rozsahem 0,1 / 0,5 A je obvykle použit v aplikacích, kde je požadována citlivá zemní ochrana a kde je k dispozici součtový transformátor proudu.

Vstupy pro fázová napětí (s možností připojení jak fázového, tak i sdruženého napětí) a vstup pro měření nulové složky napětí mají rozsah, který pokrývá hodnoty jmenovitých napětí 100 V, 110 V, 115 V a 120 V. Jmenovité hodnoty proudových i napěťových vstupů jsou navoleny v SW vybavení IED

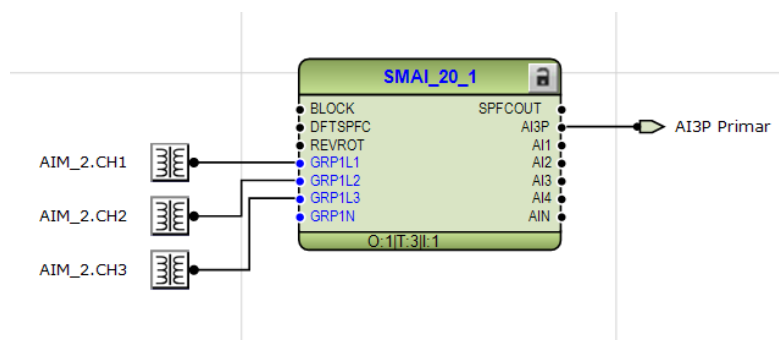
6 Nastavení a měření na ochraně transformátoru RET630

Na ochraně RET630, která je zabudovaná v laboratorním modelu vysokého napětí v laboratoři EB015, se nikdy neprovádělo měření laboratorních úloh, a proto se naprogramování muselo vytvořit od začátku.

Pro naprogramování IED slouží softwarový nástroj PCM600, ve kterém je možné upravit přednastavené konfigurace nebo vytvořit nové konfigurace, což jsou schémata funkčních bloků a jejich nastavení. Požadavkem bylo vytvořit pomocí ochrany RET630 rozdílovou ochranu transformátoru pro měření laboratorní úlohy.

Podle tohoto požadavku byla vytvořena konfigurace, která se skládá například z analogových vstupů, měřících bloků, ochranných bloků atd. Jednotlivé prvky konfigurace jsou popsány dále v této kapitole.

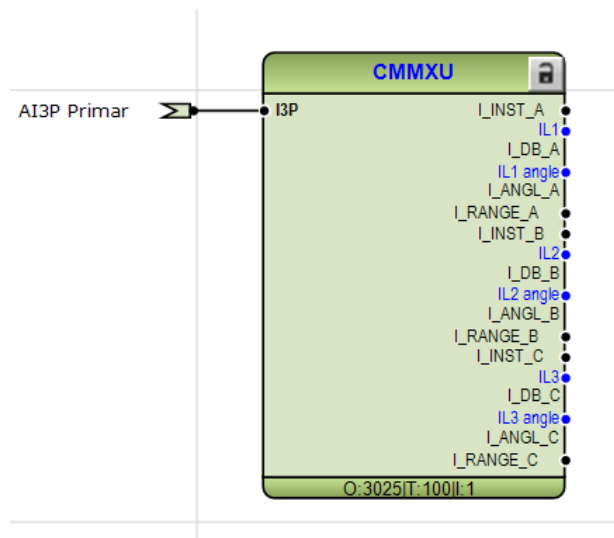
6.1 Funkční blok sběru analogových proudů primární a sekundární strany transformátoru SMAI_20_1 a SMAI_20_2



Obr. 8 Funkční blok SMAI_20_1

Funkční blok SMAI_20_1 a SMAI_20_2 (Obr. 9) slouží pro měření proudů na primární a sekundární straně transformátoru. Na jeho vstupy GRP1Lx jsou přivedeny analogové vstupy měřící tři fázové proudy. Výstup AI3P Primar sdružuje do jedné skupiny všechny analogové vstupy přivedené do tohoto funkčního bloku a dále se používá jako vstup funkčních bloků ochranné funkce, která potřebuje ke své funkci měřené proudy. Tento vstup je také přiveden do bloku CMMXU pro měření proudů primární strany transformátoru.

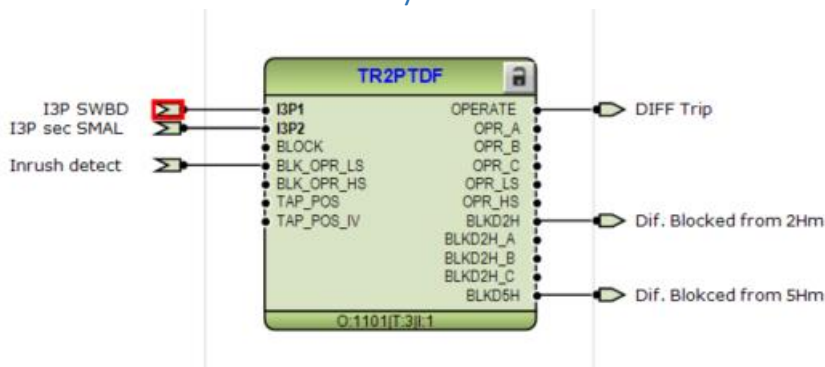
6.3 Funkční blok třífázové měřící funkce proudu primární a sekundární strany transformátoru CMMXU



Obr. 9 Funkční blok CMMXU

Měřicí funkční bloky (Obr. 10) jsou použity pro monitorování a měření třífázového proudu na primární a sekundární straně transformátoru. Navíc obsahují přehled současného stavu měřených veličin provozovateli systému. Do funkčního bloku třífázové měřící funkce je připojen vstupní signál AI3P Primar (do druhého funkčního bloku je přiveden AI3P Secudar), který je přiveden z SMAI_20_1 (SMAI_20_2) a následně připojen na vstup I3P. V této konfiguraci není využit žádný výstupní signál použitého bloku.

6.5 Funkční blok rozdílové ochrany transformátoru TR2PTDF



Obr. 10 Funkční blok TR2PTDF

Rozdílová ochrana transformátoru TR2PTDF (Obr. 11) je určena k ochraně dvouvinut'ových transformátorů a bloků generátor-transformátor. TR2PTDF obsahuje nízko stupeňový a mžikový stupeň vypínání.

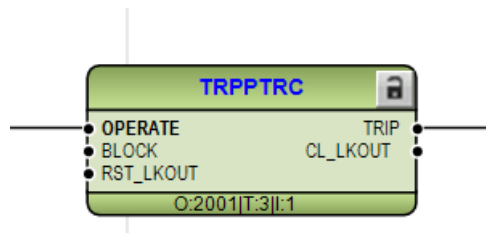
Předpjatý nízký stupeň zajišťuje rychlé vypínání poruch a stabilitu při vysokých proudech procházejících chráněnou zónou, které zvyšují chyby v měření proudu. Omezení druhé harmonické

spolu s algoritmem sledujícím tvar vlny, zajišťuje, že nízký stupeň nesepe v důsledku zapínacích proudů transformátoru. Omezení páté harmonické zajišťuje, že dolní stupeň nevypne na základě vzdálených diferenciálních proudů způsobených neškodným vzrušením transformátoru.

Mžikový vysoký stupeň poskytuje velmi rychlé vypnutí závažných poruch s vysokými diferenciálními proudy bez ohledu na jejich harmonické.

Nastavovací charakteristika může být nastavena na citlivější pomocí přepínače odboček kompenzace. Korekce transformačního poměru v důsledku změn polohy odboček se provádí automaticky na základě informací o stavu přepínače odboček.^[11]

6.6 Vypínací logika TRPPTRC



Obr. 11 Funkční blok TRPPTRC

Vypínací logika funkčního bloku TRPPTRC (Obr. 12) je použita jako kolektor vypínacích příkazů a manipulátor pro ochranou funkci. Funkce tohoto bloku má vliv na vypínací signál vypínače. Uživatel může nastavit minimální délku vypínacího impulsu, když je vybrán ne-přidržený mód. Lze vybrat i přidržený mód pro vypínací signál.^[11]

7 Zapojení ochrany RET630 do fyzikálního modelu vývodu

7.1 Napájení úlohy

Ochrana je spolu s ostatními zařízeními v laboratorním stole napájena z modulu napájení Obr. 13. Stůl je pod napětím, pokud zelené tlačítko („Zap“ – blok Napájení stolu) svítí. Vypnutí stolu se pak provádí Hlavním vypínačem stolu v provedení bezpečnostního tlačítka ve tvaru hříbu. Tento modul je na vstupu chráněn proudový chráničem typu G s reziduálním proudem 30 mA, se zvýšenou odolností proti proudovým rázům.

Toto napájení ovšem není použito pro samotnou laboratorní úlohu, protože dané výstupní napětí nelze regulovat. Pro napětěvou vstupní hodnotu ochrany RET630 se využívá třífázový autotransformátor.



Obr. 12 Modul napájení

7.2 Trojfázový autotransformátor

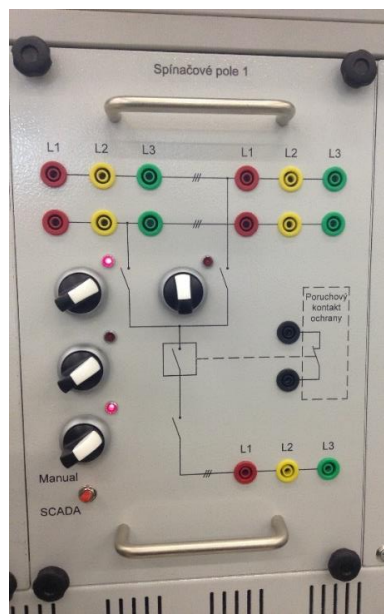
Trojfázový autotransformátor (Obr. 14) je napájen ze třífázové zásuvky ze druhého laboratorního stolu. Důvod pro použití autotransformátoru je možnost regulace výstupního sdruženého napětí od 0-400 V a možnost regulace výstupního proudu od 0-6 A. Pro měření jsme vyvedli všechny fáze na modul přípojnic (Spínačové pole).



Obr. 13 Trojfázový autotransformátor

7.3 Spínačové pole

Spínačové pole 1 (Obr. 15) simuluje vývod dvou přípojnicového systému s vypínačem a třemi odpojovači. Sepnutý stav indikují LED diody, které jsou nad otočnými vypínači. Poruchový kontakt ochrany slouží k vypnutí a blokování hlavního vypínače. Na tento kontakt je připojen binární výstup ochrany RET630, která hlavní vypínač blokuje, pokud je na tento kontakt přivedena logická nula. Pro opětovné zapnutí se vypínač musí odblokovat přes ochranu RET630 logickou jedničkou (napětí na poruchovém kontaktu)



Obr. 14 Spínačové pole

7.4 Ochrana RET630

Ochrana RET630 (Obr. 16) je spínána kolébkovým přepínačem. Při přepnutí kolébkového přepínače do polohy "ON" se ochrana zapne. Vypnutí ochrany se realizuje přepnutím kolébkového vypínače do polohy "OFF". Na stole jsou k dispozici tři proudové vstupy pro primární stranu trať a tři proudové vstupy pro sekundární stranu trať, které jsou v laboratorní úloze použity pro měření rozdílového proudu. Dále je z ochrany do laboratorního stolu vyvedený jeden digitální výstup použitý jako poruchový kontakt ochrany, kterým je ovládán vypínač v modulu spínačového pole 1.

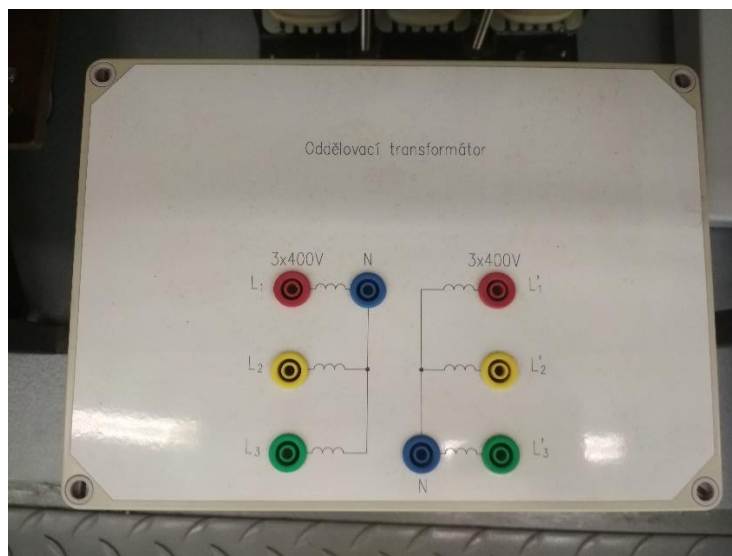


Obr. 15 Ochrana RET630 zapojená ve stole

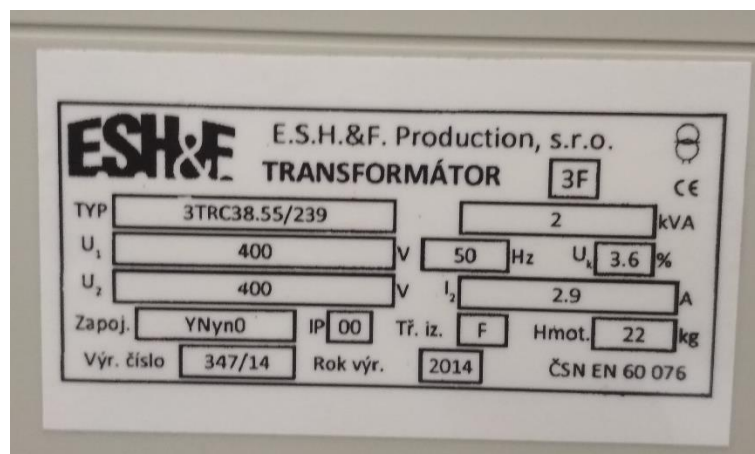
7.5 Chráněný transformátor

Oddělovací transformátor (Obr. 17 a Obr. 19) s poměrem 1:1 slouží ke galvanickému oddělení vstupního (síťového) napětí pomocí magnetického obvodu, čímž se pak zvyšuje bezpečnost práce se síťovým napětím.

Laboratorní transformátor v laboratoři EB015 má na štítku (Obr. 18) naznačené zapojení YNyn0. Ovšem skutečné zapojení, na které jsme přišli pomocí měření ochranou RET630 je YNyn6. Tato skutečnost byla zjištěna, když se nám rozdíl proudů na vstupu a výstupu neměnil, a i přesto diferenciální ochrana vypínala.



Obr. 16 Svorky oddělovacího transformátoru



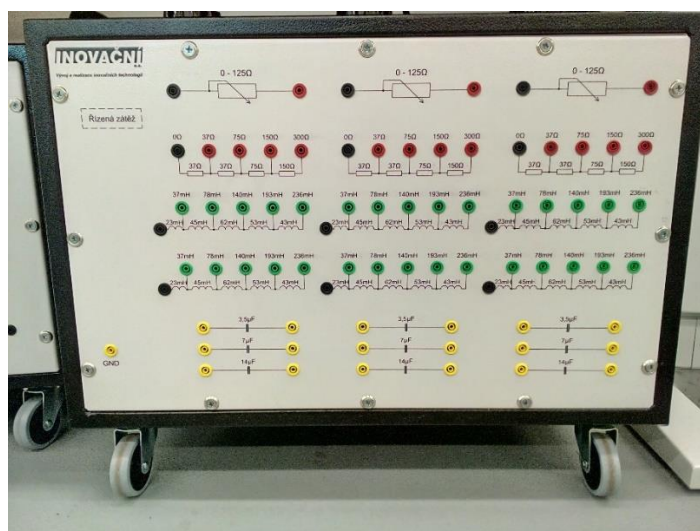
Obr. 17 Štítek oddělovacího transformátoru



Obr. 18 Oddělovací transformátor

7.6 Zátěž na transformátoru

Proudové výstupy ochrany RET630 a současně i sekundární strana transformátoru je připojena na modul simulace zatížení (Obr. 20). V našem případě je zátěž simulována pomocí činných odporníků ($370\ \Omega$) zapojených do hvězdy.

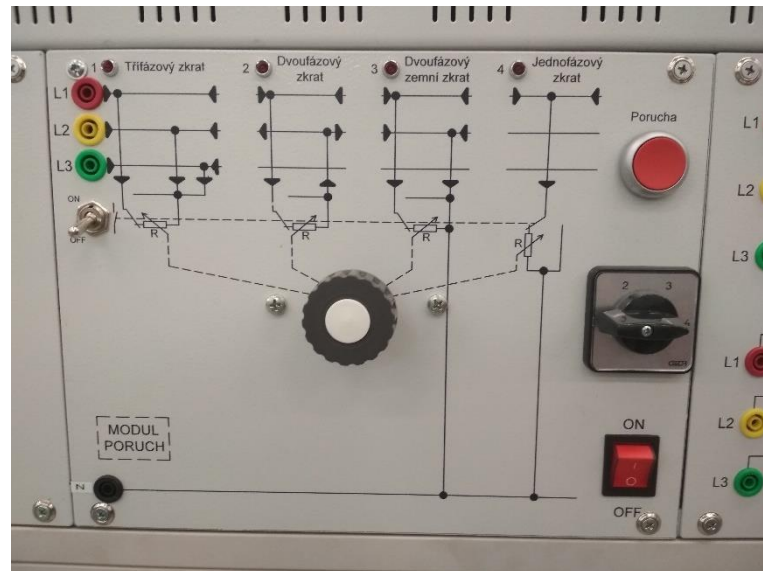


Obr. 19 Zátěž na transformátoru

7.7 Modul poruch

Modul poruch (Obr.21) umožňuje volbu ze čtyř druhů zkratů, třífázový, dvoufázový, dvoufázový zemní a jednofázový zkrat. V levé části modulu je přepínač, kterým se volí, zda je zkrat odporový (poloha OFF) nebo dokonalý (poloha ON). Odporový zkrat je realizován pomocí dvou odporů v sérii, jeden má hodnotu $12\ \Omega$ a druhý odpor je proměnný v rozsahu 0 až $125\ \Omega$.

Realizace poruchy je provedena stykačem, který se aktivuje pomocí červeného tlačítka "Porucha". Ovládání modulu je možné vypnout vypínačem ON/OFF.



Obr. 20 Modul Poruch

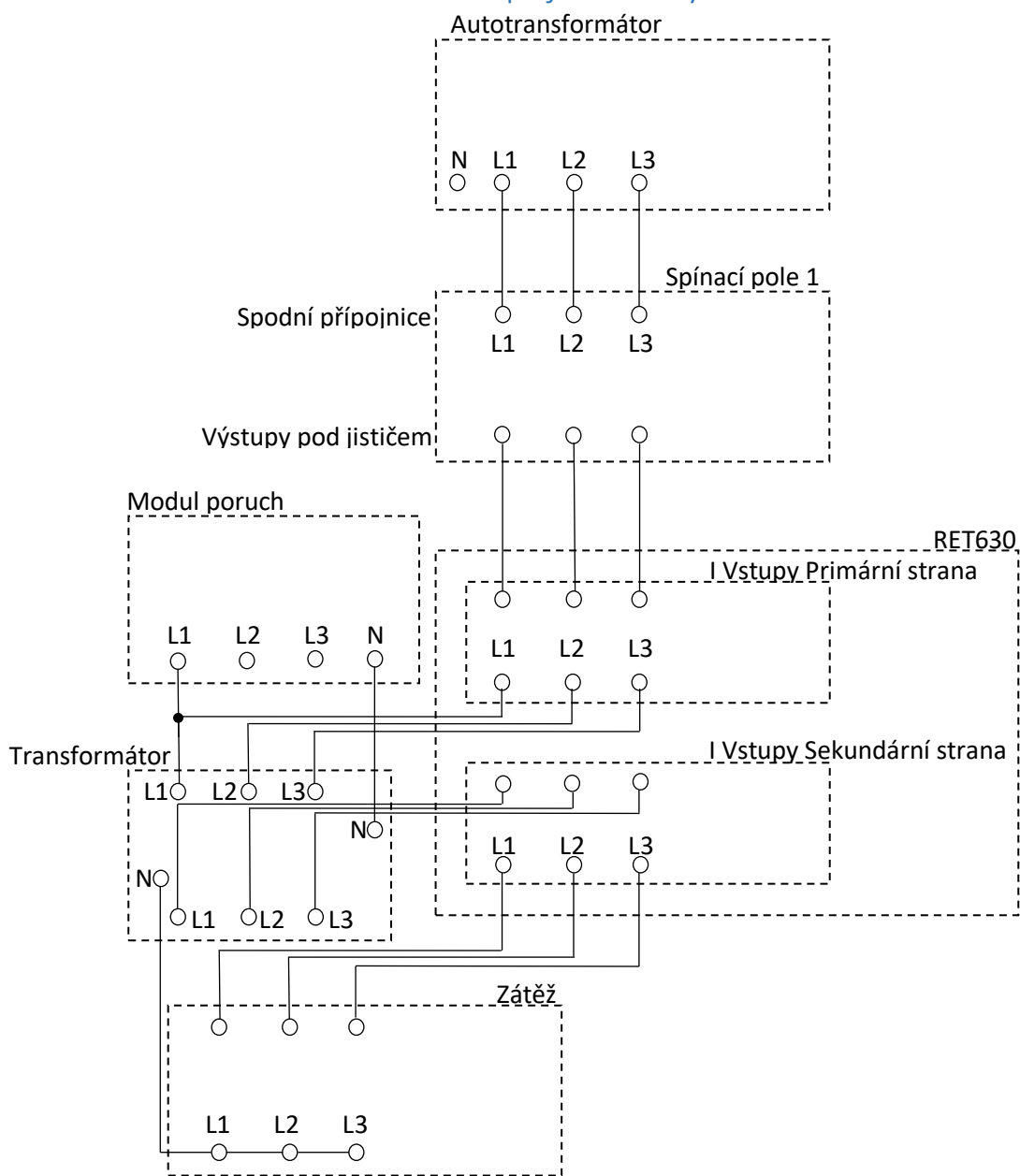
8 Vypracování návodu měření a vzorového protokolu

Návod měření, který je níže vypracován bude sloužit obsluze měřící úlohy k jejímu správnému zapojení k čemuž slouží elektrické schéma a podrobné rozkreslení přístrojů se zapojením jejich svorek. Dále tento návod obsahuje informace o tom, jak nastavit dané parametry ochranných funkcí v případě změny uvnitř funkčních bloků.

Na závěr návod obsahuje postup nastavení parametrů vedení ve funkčním bloku rozdílové ochrany pomocí rozhraní LHMI na čelním panelu ochrany. V poslední části návodu je uvedeno zadání a postup měření spolu se vzorovým protokolem.

8.1. Návod měření

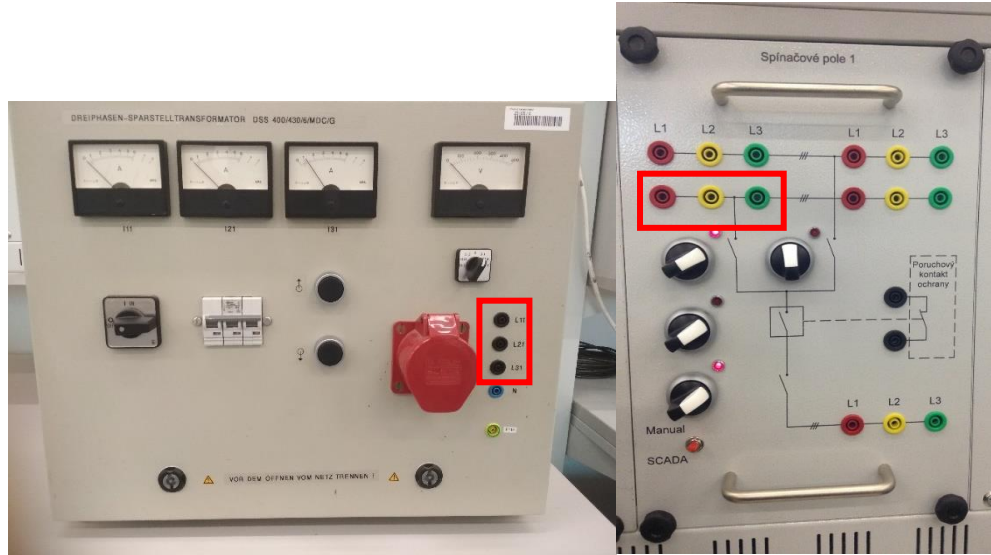
8.1.1. Elektrické schéma zapojení úlohy



Obr. 21 Schéma zapojení

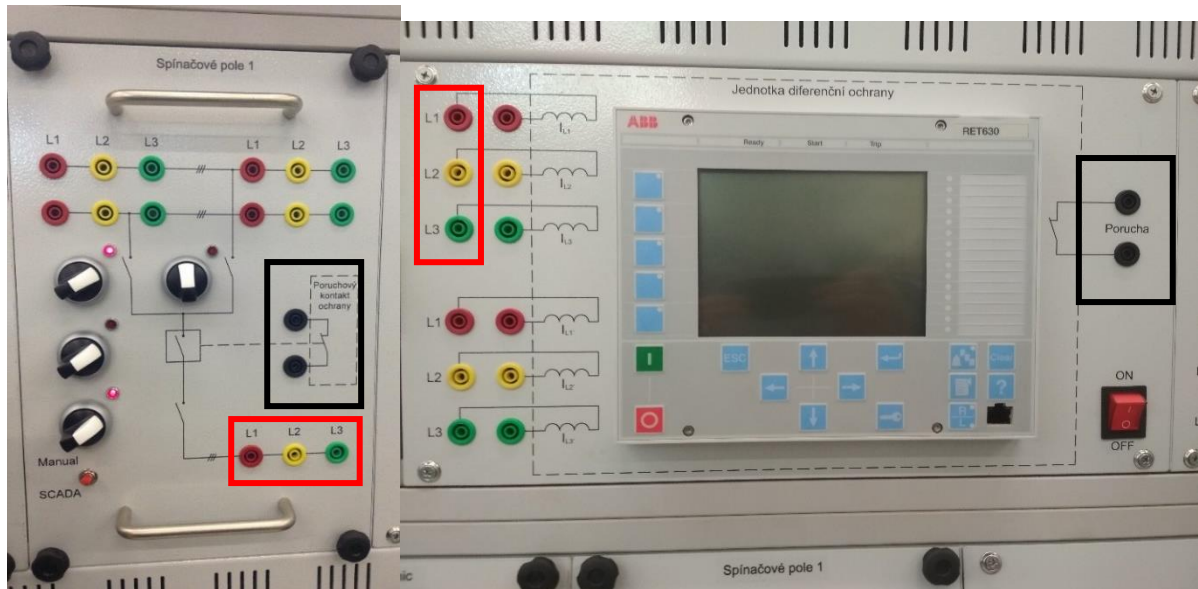
8.1.2. Návod zapojení svorkovnic přístrojů laboratorní úlohy

1. Tři fáze autotransformátoru zapojíme na spodní přípojnici Spínačového pole 1 (Obr. 23).



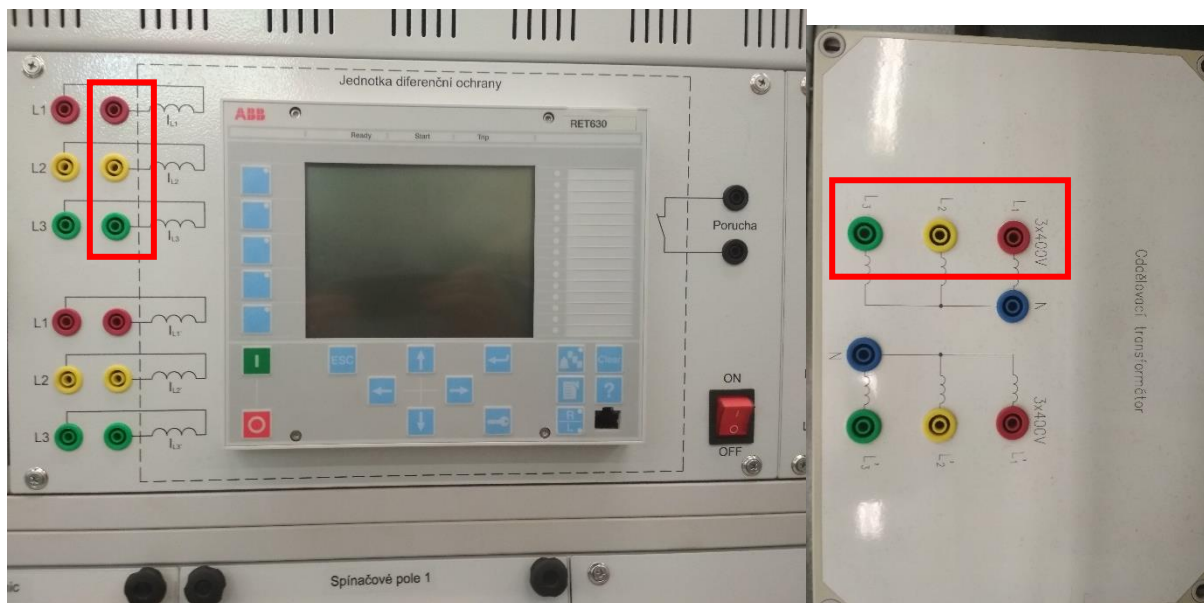
Obr. 22 Propojení autotransformátoru a spínačového pole 1

2. Tři fáze vývodu ze spínačového pole propojíme se vstupními proudovými svorkami ochrany RET630, které reprezentují primární stranu transformátoru. Následně digitální výstup z ochrany „Porucha“, propojíme se svorkami „poruchového kontaktu ochrany“ ve spínačovém poli 1 (Obr. 24).



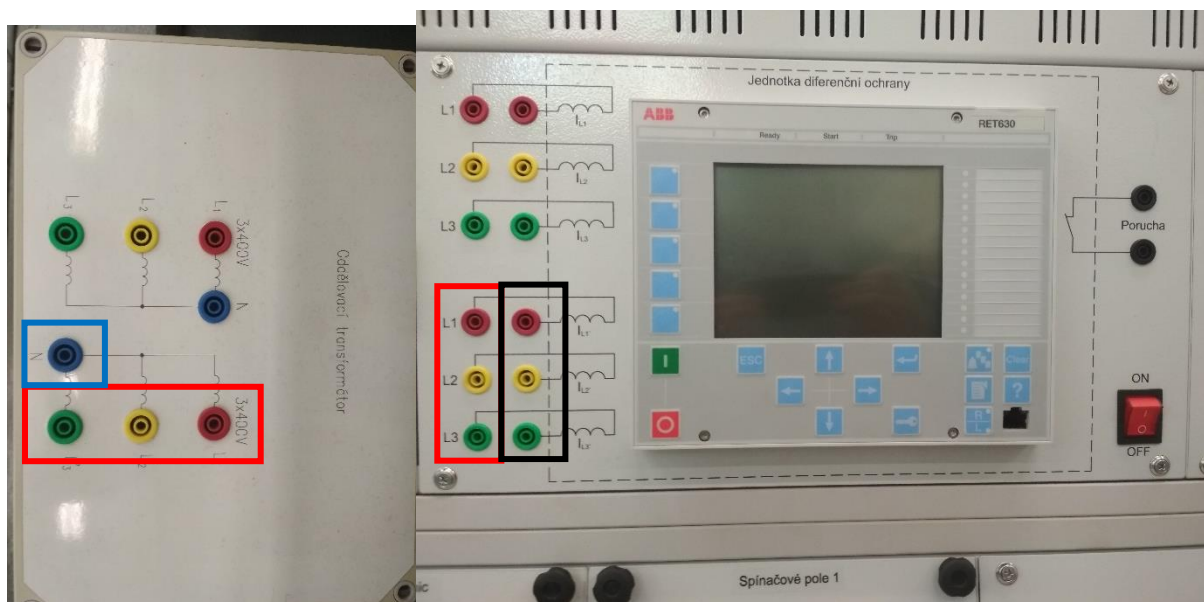
Obr. 23 Propojení spínačového pole s ochranou RET630

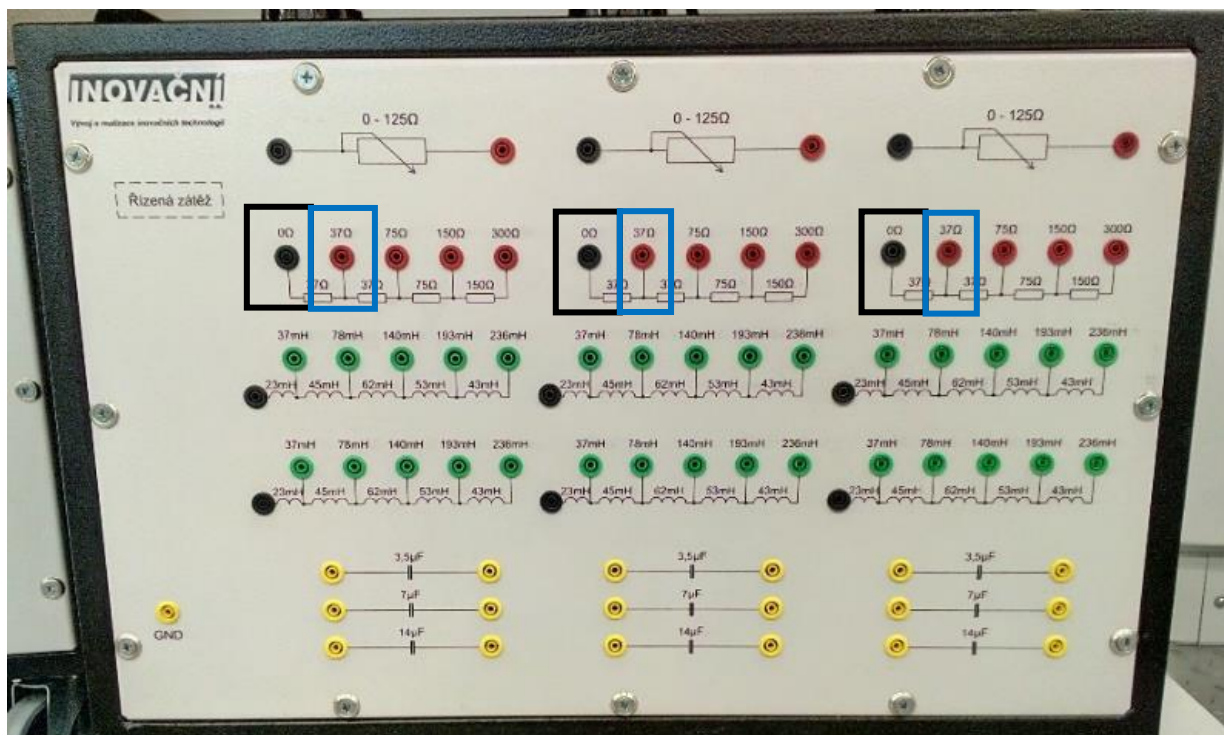
3. Výstupní svorky ochrany RET630 propojíme s primární stranou transformátoru (Obr. 25).



Obr. 24 Propojení primární strany transformátoru s ochranou RET630

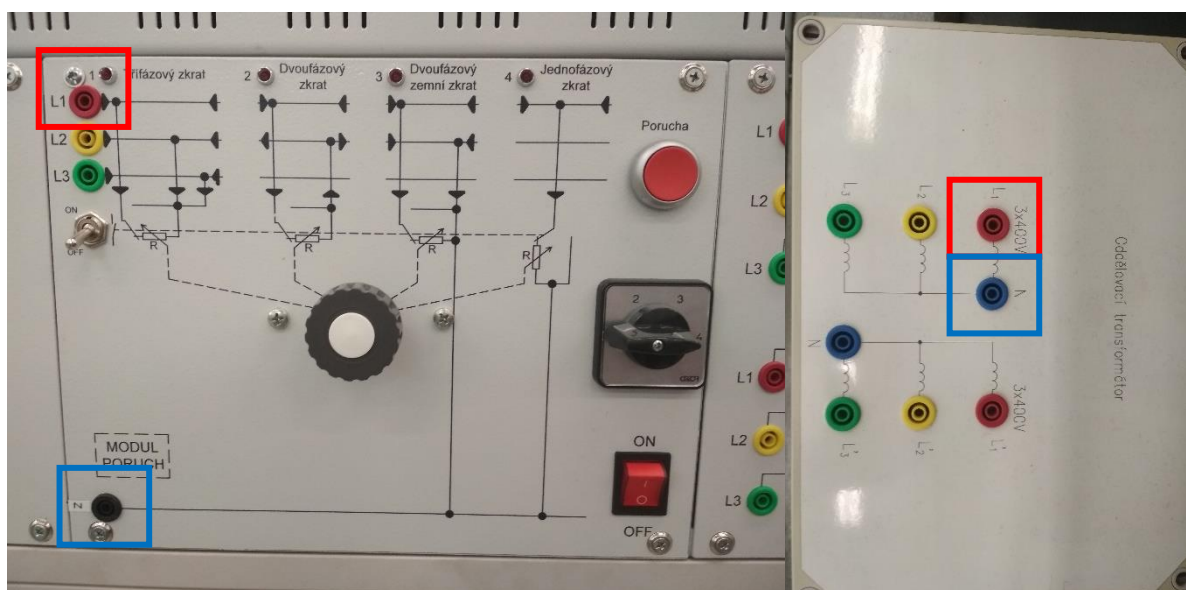
4. Ze sekundární strany transformátoru připojíme svorky na primární proudové vstupy ochrany RET630 a následně na výstupní svorky (sekundární) RET630 připojíme odporovou zátěž. Zemní svorku N na sekundární straně transformátoru propojíme taktéž ze zátěží, čímž vytvoříme zapojení do hvězdy (propojíme všechny modré čtverečky na Obr. 26).





Obr. 25 Propojení sekundární strany transformátoru s ochranou RET630 a odporovou zátěží do hvězdy

5. Z modulu poruch vyvedeme první fázi na primární stranu transformátoru a zemní svorku na nulovou svorku primární strany transformátoru (Obr. 27). Tento modul poruch nám bude simulovat jednofázový zkrat, a tudíž nesymetrii proudů na transformátoru.



Obr. 26 Připojení modulu poruch na transformátor

8.1.2 Nastavení převodu měřicího transformátoru

Startovací hodnota proudu rozdílové ochrany v RET630 se nastavuje v jednotce „za jednotku“ (p.u. – per unit), tato jednotka se vztahuje k reálným jednotkám (A, kV atd.). Samotné základní jednotky se ovšem nedají nastavit pomocí LHMI (lokální rozhraní člověk-stroj), lze je nastavit pouze v softwaru PCM600, ve kterém vybereme funkci nastavení parametrů a v HW konfiguraci (hardwarové konfiguraci) zvolíme blok AIM_2 (Obr. 28). Zde nastavíme jmenovité hodnoty primárního a sekundárního proudu měřicích transformátorů CT.

Pro tuto laboratorní úlohu byly základní hodnoty nastaveny v poměru 1:1 od hodnot napětí a proudu generovaných autotransformátorem. Tím simulujeme situaci, kdy oddělovací transformátor je zatížen stejným proudem, který se generuje na autotransformátoru. Základní jednotka primárního jmenovitého proudu je tedy 1 A.

RET630 - Parameter Setting		RET630 - Application Configuration			
Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ AIM_2					
✓ NAMECH1		CH1			13 characters
✓ InputType1		Current			
✓ ReversePolarity1		No			
✓ CTsec1		1,0	A	0,1	10,0
✓ CTprim1		1	A	1	99999
✓ NAMECH2		CH2			13 characters
✓ InputType2		Current			
✓ ReversePolarity2		No			
✓ CTsec2		1,0	A	0,1	10,0
✓ CTprim2		1	A	1	99999

Obr. 27 nastavení převodu měřicího transformátoru

8.1.3 Nastavení funkčního bloku diferenciální ochrany TR2PTDF

- 1) Seznam parametrů bloku rozdílové ochrany TR2PTDF je na Obr. 29
- 2) Změnu daných parametrů funkčního bloku lze provést pomocí displeje ochrany: Main menu/Settings/Settings/Differential protection/TR2PTDF
- 3) Pro aktivaci této funkce je nutné na řádku "Operation" nastavit hodnotu "On".
- 4) Následně je potřeba zvolit hodnotu zapojení hodinového úhlu „Clock number“ na hodnotu podle zapojení fyzického transformátoru. V našem případě ji nastavíme na Clk Num 6. V případě zvolení jiné hodnoty by došlo ke zvyšování rozdílového proudu, při nárůstu jmenovitého napětí bez ohledu na to, jestli v obvodu skutečně dochází k poruše, nebo ne.
- 5) Zvolíme typ zapojení primárního a sekundárního vinutí podle reálného zapojení transformátoru, v našem případě: Winding type 1 = YN a Winding type 2 = Y

- 6) V **Setting Group 1**, zvolíme Low operate value, Slope Section 2 a End Section 2 podle zadání konkrétní úlohy. Těmito hodnotami se nastavuje tvar vypínací charakteristiky rozdílové ochrany. Podrobnější popis těchto parametrů je v následující kapitole 8.1.4.
- 7) Ostatní parametry ponecháme na jejich původní hodnotě

RET630 - Parameter Setting		RET630 - Application Configuration			
Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
TR2PTDF: 1					
✓ Operation		On			
✓ Base value Sel Wnd 1		Phase Grp 1			
✓ Base value Sel Wnd 2		Phase Grp 1			
✓ Clock number		Clk Num 6			
✓ Winding 1 type		YN			
✓ Winding 2 type		Y			
✓ CT connection type		Type 1			
✓ Zro A elimination		Winding 1 and 2			
✓ Step of tap		1,50	%	0,60	9,00
✓ Tapped winding		Not in use			
✓ Max winding tap		0		-36	36
✓ Min winding tap		36		-36	36
✓ Tap nominal		18		-36	36
✓ Setting Group1					
✓ Restraint mode		2.h & 5.h & wav			
✓ High operate value		1000	%	500	3000
✓ Low operate value		10	%	5	50
✓ Slope section 2		20	%	10	50
✓ End section 2		500	%	100	500
✓ Start value 2.H		15	%	7	20
✓ Start value 5.H		35	%	10	50
✓ Stop value 5.H		35	%	10	50
✓ Enable high set		No			
✓ Harmonic deblock 2.H		Allowed			
✓ Harmonic deblock 5.H		Not allowed			

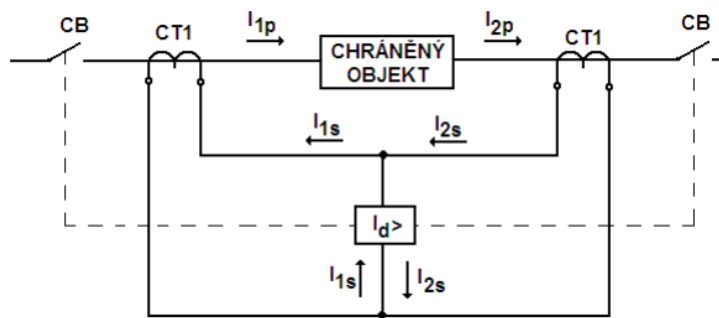
Obr. 28 Nastavení parametrů TR2PTDF

8.1.4 Teoretický rozbor rozdílové ochrany v RET630 (funkční blok TR2PTDF)

Princip funkce rozdílové ochrany v RET630

Rozdílová ochrana RET630 je navržena pro ochranu dvouvinutových transformátorů a vysokonapěťových generátorů. Ochrana měří proudy na všech fázích primární a sekundární strany transformátoru. Porovnáváním těchto proudů se zjistí jejich rozdíl, za normálního stavu je rozdíl proudů roven nule. Při poruše dojde k nárůstu rozdílového proudu a ochrana tak rozpozná chybu v chráněném transformátoru. Pokud je tento rozdílový proud větší, než nastavený vypínací proud ochranou RET630 pak dojde k odpojení objektu od napájení.

Funkce rozdílové ochrany je zobrazena na Obr. 30. Primární proudy I_{1p} a I_{2p} na obou stranách chráněného objektu jsou převáděny měřicími transformátory proudu (CT) na proudy měřené ochranou I_{s1} a I_{s2} . V bezporuchovém provozu platí pro proudy $I_{s1} = I_{s2}$, v tomto případě rozdílový člen $I_d >$ nereaguje a rozdílový proud $I_d = I_{s1} - I_{s2} = 0$. V opačném případě si tyto proudy nejsou rovny a rozdílový proud je $I_d = I_{s1} - I_{s2} \neq 0$ a rozdílový člen reaguje, vysílá povel k rozepnutí výkonových vypínačů (CB) na obou stranách chráněného objektu.



Obr. 29 Princip funkce rozdílové ochrany

V reálné situaci v bezporuchovém provozním stavu není rozdílový proud I_d roven nule. Při chránění v našem případě transformátoru je nenulovost rozdílového proudu způsobena několika faktory jako:

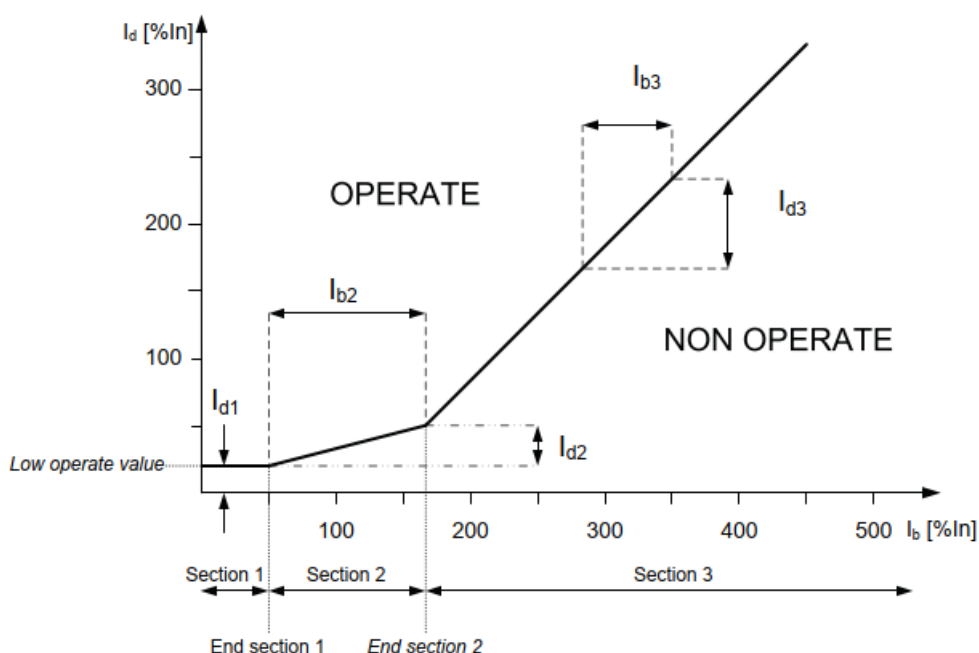
- Rozdílnost převodů CT
- Nepřesnost CT
- Změnou polohy regulační odbočky transformátoru
- Magnetizačním proudem transformátoru (proud naprázdno)
- Magnetizační ráz při zapnutí transformátoru
- Přebuzení transformátoru

Všechny výše uvedené faktory mohou potenciálně způsobit chybné vybavení rozdílové ochrany. Rozdílový proud I_d způsobená nepřesností CT a změnou regulační odbočky se zvětšuje přímo úměrně se zatížením transformátoru. Proto je rozdílový proud nutný k vypnutí tím vyšší, čím vyšší je stabilizační (zatěžovací) proud I_b chráněným objektem.

$$I_b = \frac{|I_{s1} + I_{s2}|}{2}$$

Vypínací charakteristika rozdílové ochrany v RET630

Vypínací charakteristika rozdílové ochrany v RET630 znázorněna na Obr. 31 je rozdělena do čtyř oblastí v závislosti na velikosti protékajícího stabilizačního proudu.



Obr. 30 Charakteristika stabilizačního proudu funkčního bloku TR2PTDF

Oblast 1 („Section 1“):

Tato oblast je určena pro malá proudová zatížení chráněného objektu – transformátoru. Oblast 1 (Section 1) je pevně dána počátečním bodem v nule a koncovým bodem (End Section 1), který je zafixovaný v hodnotě 50 % jmenovitého proudu I_n . V této oblasti je vypínací rozdílový proud stále konstantní. V nastavení ochrany se tyto body definují jako:

Low operate value – prahová vypínací hodnota rozdílového proudu charakterizující oblast 1. (I_{d1}/I_n) x 100 %

I_{d1} – konstantní rozdílový proud v oblasti 1 (Prahová hodnota rozdílového proudu z napájecího proudu v procentech)

I_{b1} – stabilizační proud určující velikost oblasti 1 (vždy nastavený jako 50 % jmenovitého proudu)

Oblast 2 („Section 2“):

V této oblasti se detekují rozdílové proudy pro normální a středně těžká zatížení chráněného objektu. Oblast 2 (Section 2) je určena koncovým bodem oblasti 1 (End section 1) sklonem rozdílového vypínacího proudu (Slope section 2) a koncovým bodem oblasti 2 (End section 2).

V této oblasti je pak vypínací schopnost rozdílové ochrany ovlivněna počátečním poměrem rozdílového proudu a proudu v zátěži. V nastavení ochrany se tyto hraniční hodnoty definují jako:

End section 1 – Koncová hodnota oblasti 1 (vždy 50 %)

I_{d2} – rozdílový vypínací proud v oblasti 2

I_{b2} – stabilizační proud určující velikost oblasti 2

Slope Section 2 – sklon rozdílového vypínacího proudu $(I_{d2}/I_{b2}) \times 100 \% = 10$ až 50 % v oblasti 2

End section 2 – koncová hodnota oblasti 2 (nastavitelná v rozmezí 100 až 500 % jmenovitého proudu)

Oblast 3 („Section 3“):

V této poslední oblasti se detekují ty nejvyšší zatížení chráněných objektů. Spád je 100 %, což znamená, že zvýšení rozdílového proudu I_{d3} je stejné jako zvýšení stabilizačního proudu I_{b3}.

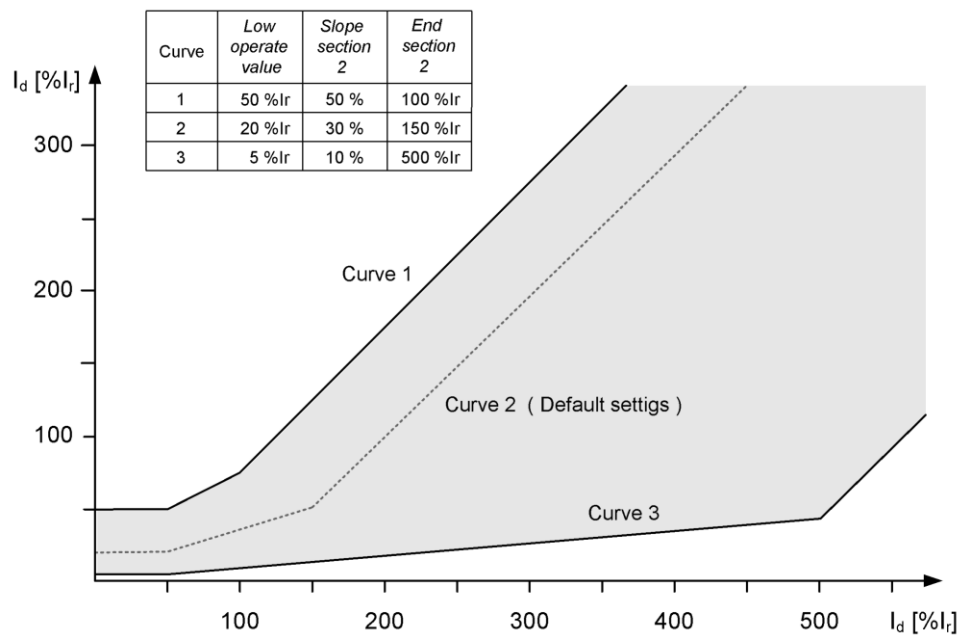
Pokud je stabilizační proud I_{b3} menší než rozdílový proud fáze I_{d3}, pak úhel mezi proudy na vinutí 1 a vinutí 2 se blíží nule (za normálních okolností je tento fázový rozdíl 180 stupňů) pak k chybě došlo v oblasti chráněné ochranou TR2PTDF a dojde k vypnutí. V nastavení ochrany se tyto hodnoty definují jako:

End section 2 – Koncová hodnota oblasti 2 v rozmezí 100 až 500 % I_n

I_{d3} – rozdílový vypínací proud v oblasti 3

I_{b3} – stabilizační proud určující velikost oblasti 3 v rozmezí od 100 až 500 % I_n

Slope Section 3 – sklon rozdílového vypínacího proudu $(I_{d3}/I_{b3}) \times 100 \% = 100 \%$



Obr. 31 Meze nastavení vypínacích charakteristik rozdílové ochrany

8.2 Vzorový protokol

8.2.1 Zadání

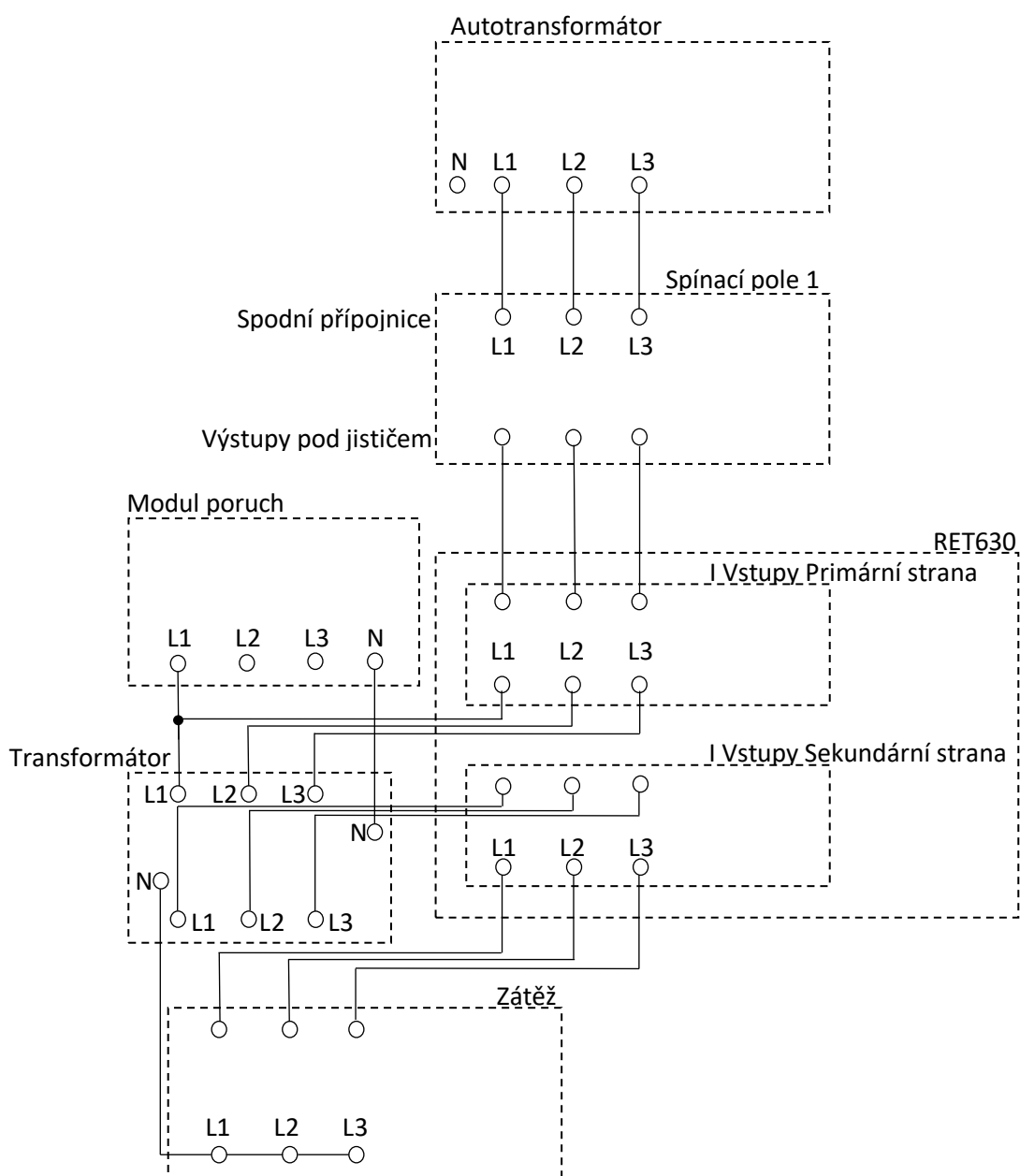
- 1) Zapojte měřený obvod podle schématu na Obr. 33, zátěž na sekundární straně transformátoru zapojte do hvězdy s $R = 37 \Omega$.
- 2) Nastavte funkční blok TR2PTDF ochrany RET630 podle návodu na Low operate value = 50 %, Slope section 2 = 50 % a End section 2 = 100 %.
- 3) Nastavením 50 %, 75 %, 100 %, 125 %, 150 % vstupního proudu autotransformátorem, změřte hodnoty vypínací charakteristiky rozdílové ochrany. Vstupní proud $I_n = 1 \text{ A}$.
- 4) Vyneste naměřené hodnoty do grafu a porovnejte charakteristiky s teoretickými hodnotami podle teoretického úvodu.

8.2.2 Postup měření

Při měření úlohy je potřeba nastavit funkční blok TR2PTDF, který reprezentuje rozdílovou ochranu v ochraně RET630. Tento blok lze nastavit v **Main menu/settings/differential protection/TR2PTDF**. Vybráním „on“ nebo „off“, zapneme nebo vypneme ochranný blok.

- a) Zapojte úlohu podle přiloženého schématu.
- b) Nastavte hodnoty Low operate value, Slope section 2, End section 2 v bloku TR2PTDF na hodnoty podle bodu 2. zadání. Ostatní hodnoty nechte nezměněné.
- c) Otočným přepínačem na modulu poruch vyberte jednofázový zkrat. Přepínač odporu poruchy musí být ve stavu "ON" – to znamená nulový odpor poruchy.
- d) Na obrazovce ochrany RET630 se přepněte do okna measurements. **Main menu / Measurements / Differential and Biased currents.**
- e) Zapněte autotransformátor a nastavte vstupní odpor na 50 % jmenovitého proudu.
- f) Stiskněte tlačítko porucha a držte jej, při stisknutém tlačítku poruchy začněte snižovat zkratový odpor na poruchovém modulu, dokud nedojde k vypnutí ochrany.
- g) Odečtěte rozdílový (differential) a stabilizační (biased) proud z displeje ochrany.
- h) Vraťte zkratový odpor na maximální hodnotu a odblokujte ochranu RET630 podle následující cesty: **Main menu / Clear / Clear lockouts**
- i) Na autotransformátoru nastavte 75 % jmenovitého proudu a zopakujte body měření c) až h)
- j) Opakujte postup c) až i) pro různé hodnoty jmenovitého proudu (50 %, 75 %, 100 %, 125 %, 150 % Ω).

8.2.3 Schéma



Obr. 32 Elektrické schéma zapojení

8.2.4 Tabulky

V tabulkách jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty zkratových proudů. Naměřené hodnoty jsou přepočtené na primární stranu měřících transformátorů proudu. Ve skutečnosti však v laboratorní úloze měřící transformátory použity nebyly, ale v ochraně byl nastaven převod $p = 1$, čímž byla simulována situace zapojení měřících transformátorů.

Tab. 1 Naměřené hodnoty charakteristiky 1 rozdílové ochrany

Charakteristika 1	Low operate value	Slope section 2	End section 2
	50 % In	50 %	100 % In
In = 1 [A]	In [%]	Id [%]	Ib [%]
0,23	23	44	50
0,517	50	63	82
0,752	75	90	118
1	100	130	165
1,251	125	183	213
1,493	150	222	253

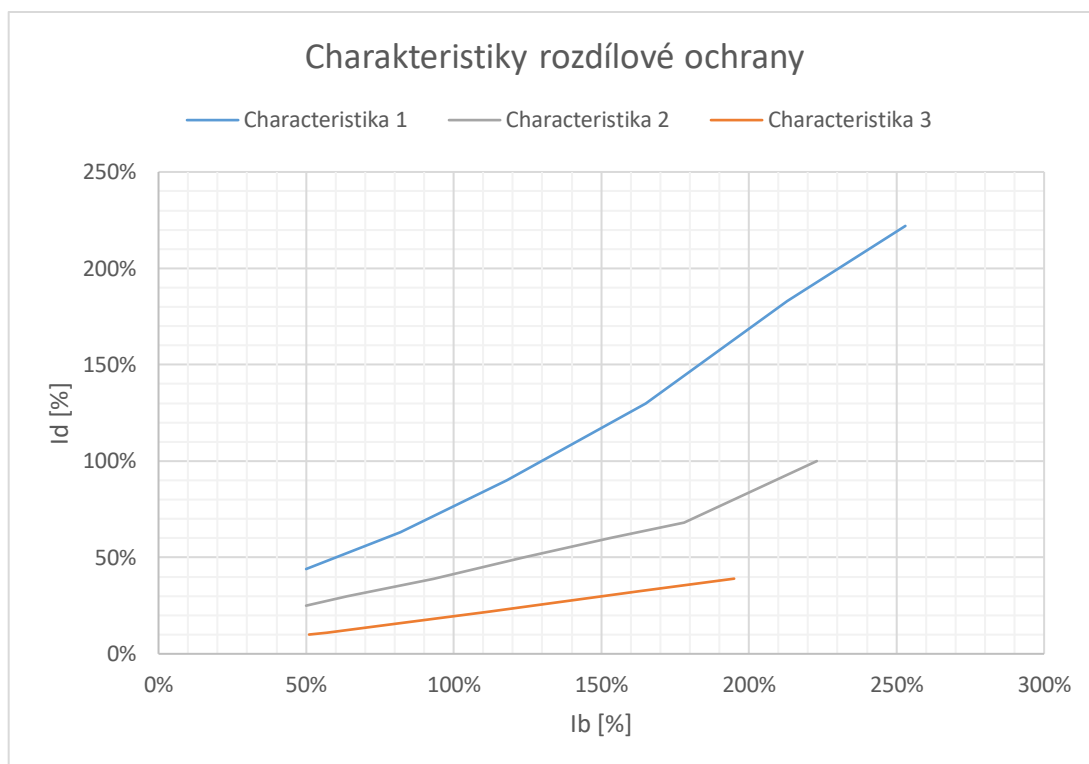
Tab. 2 Naměřené hodnoty charakteristiky 2 rozdílové ochrany

Charakteristika 2	Low operate value	Slope section 2	End section 2
	50 % In	50 %	100 % In
In = 1 [A]	In [%]	Id [%]	Ib [%]
0,402	40	25	50
0,501	50	30	64
0,752	75	39	93
1,014	100	50	124
1,259	125	60	153
1,493	150	68	178
1,782	178	100	223

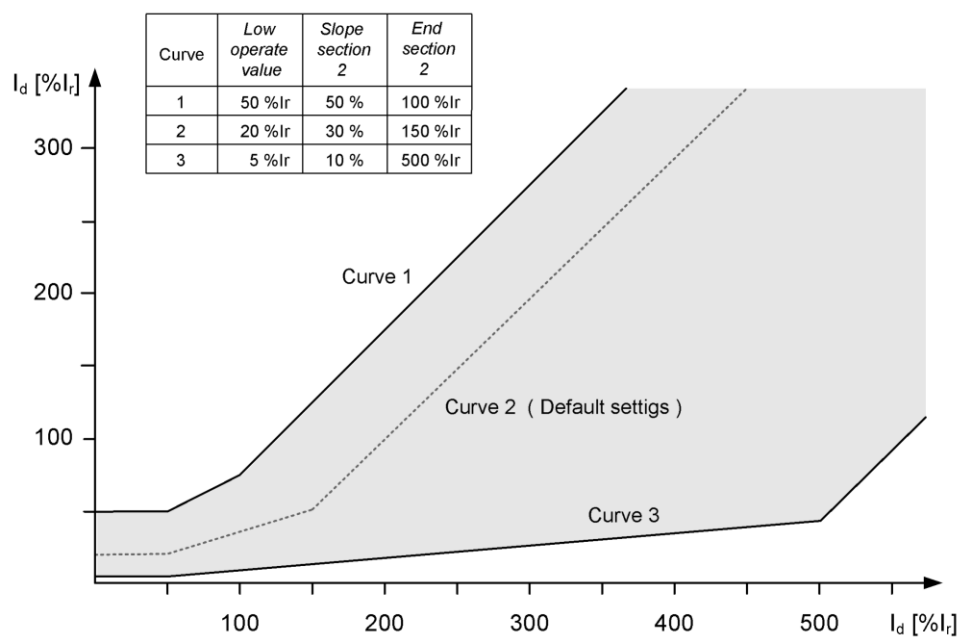
Tab. 3 Naměřené hodnoty charakteristiky 3 rozdílové ochrany

Charakteristika 3	Low operate value	Slope section 2	End section 2
	50 % In	50 %	100 % In
In = 1 [A]	In [%]	Id [%]	Ib [%]
0,385	38	10	51
0,527	50	11	57
0,754	75	16	82
1,018	100	22	112
1,249	125	27	136
1,507	150	32,5	163
1,782	178	39	195

8.2.6 Grafické vyhodnocení



Graf. 1 Charakteristiky rozdílové ochrany RET630



Graf. 2 Meze nastavení vypínacích charakteristik rozdílové ochrany

8.2.7 Seznam použitých přístrojů

- Ochrana RET630
- Třífázový autotransformátor DSS 400/430/6/MDC/G
- Oddělovací transformátor E.S.H.&F. Production, s.r.o.
- Modul spínačového pole 1
- Modul napájení
- Modul poruch
- Modul simulace přenosových vedení
- Modul zátěže

8.2.8 Závěr

Cílem této úlohy bylo proměřit charakteristiku rozdílové ochrany RET630 a srovnat ji s její teoretickou hodnotou podle technického manuálu.

Z naměřených hodnot v Tab. 1 až 3 je vidět, že abychom se dostali až na fixní hodnotu **Low operate value** – prahová vypínací hodnota rozdílového proudu. Bylo potřeba nastavit jmenovitý proud na 23 % jeho hodnoty. Tento bod znázorňuje první zlomový bod charakteristiky, po kterém se dostáváme z fixní vypínací hodnoty stabilizačního proudu $I_{bl} = 50 \% I_n$, který je dán konstrukcí ochrany do oblasti vypínání rozdílových proudů v závislosti na různých stabilizačních proudech, které závisí na velikosti poruchy, respektive poruchového proudu mimo chráněný obvod, který nám způsobí nenulový rozdílový odpor.

Při srovnání naměřených charakteristik zobrazených v Graf. 1 s Graf. 2. který reprezentuje mezní hodnoty vypínacích charakteristik si můžeme všimnout, že se navzájem tvarově kopírují.

Důvod, proč jsme v charakteristice 3 nezměřili druhý bod zlomu v End Section 2 je to, že v laboratoři jsme použili zátěž, která nám dovolila maximální zatížení 2 A. Proto jsme nebyli schopni se dostat na potřebně velký zatěžovací proud trať abychom mohli změřit velké stabilizační proudu v hodnotách stovek procent jmenovitého proudu.

9 Závěr

V rámci této diplomové práce jsem nastudoval a zpracoval teorii k elektrickým ochranám vn a vvn sítí. Dále jsem nastudoval způsoby chránění transformátorů, respektive rozdílovou ochranu transformátorů. Na závěr jsem vypracoval laboratorní úlohu pro studenty, ve které se budou měřit charakteristiky rozdílové ochrany transformátoru. K samotnému měření jsem využil zařízení Relion RET630.

Hlavním cílem této práce bylo umožnit studentům naučit se ovládat reálnou ochranu transformátoru a uvědomit si její funkcionalitu.

Ochrana použitá v této laboratorní úloze je ochrana RET630 od společnosti ABB s.r.o. Tato ochrana je vestavěná v laboratorním stole v laboratoři EB015 spolu s ochranou REF630 a dalšími moduly, jako dvojitý systém přípojníc. Tato úloha byla navržena od počátku. Vytvořil jsem měřicí zapojení, schéma a postup zapojení, který je součástí této práce.

Následně jsem pro ochranu nakonfiguroval pomocí PCM600 – software určený pro konfigurování funkčních bloků v RET630 – ochranné funkce, rozdílovou ochranu transformátoru a logiku vypínání. Konfiguraci jsem naimportoval do ochrany a otestoval jsem funkci celé úlohy.

Oddělovací transformátor E.S.H.&F. Production, s.r.o. v laboratoři EB015 měl na štítku označené zapojení YNyn0. Ovšem skutečné zapojení vinutí, na které jsem přišel pomocí měření ochranou RET630 je YNyn6. Tato skutečnost byla zjištěna, když se rozdíl proudů na vstupu a výstupu transformátoru neměnil, ale diferenciální proud měřený ochranou stoupal při zvyšování primárního napětí, což vedlo k chybnému vypínání ochrany.

Všechny části měření laboratorní úlohy byly opakovaně změřeny a ověřeny a jsou vyhodnoceny ve vzorovém protokolu na konci této práce. Naměřené charakteristiky rozdílové ochrany se shodují s teoretickými charakteristikami rozdílové ochrany RET630, úloha je tedy odzkoušená a připravená pro využití ve výuce.

Cíl práce byl splněn, ale je tu prostor pro rozšíření dané laboratorní úlohy o další funkce. Například blokování rozdílové ochrany nadproudovou ochranou, která reaguje na druhou harmonickou při nasycování transformátoru. Další možností je blokování pátou harmonickou, která vzniká při přesycení jádra transformátoru. Případně vytvoření dalších, nadproudových ochranných, které v praxi slouží k vyšší selektivitě.

Seznam použité literatury

- [1] DOHNÁLEK, Petr. Ochrany pro průmysl a energetiku: určeno [také] pro posl. pomaturitního inovačního studia oboru zařízení silnoproudé elektrotechn. a studia postgraduálního. Praha: SNTL, 1978. Řada elektrotechnické literatury. ISBN 9788003006304.
- [2] ABB s.r.o.: IED pro chránění a ovládání vývodu REF 630. Popis a technická data výrobku. 2012. ID: 1MRS757075 CZ C
- [3] JANÍČEK, František, Vladimír CLADNÝ, Žaneta ELSCHOVÁ a Anton BELÁŇ. Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. Slovenská technická univerzita v Bratislavě: Mercury – Smékal, 2003. ISBN 80-89061-73-7.
- [4] HALUZÍK, Evžen. Ochrany a automatiky v elektrických sítích. 1. vyd. Brno: VUT, 1986, 160 s.
- [5] DOHNÁLEK, Petr. Ochrany pro průmysl a energetiku. 2. přepr.vyd. Praha: SNTL, 1991, 339 s. ISBN 80-030-0630-9.
- [6] Blischke WR, Murthy DNP. Reliability: Modeling, Prediction, and Optimization. Wiley Interscience New York, USA 2000
- [7] Meneses A, Pinto LC. Quality of supply at the Portuguese Electricity Transmission Grid. In: Presented at the 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU); IEEE; Lisbon, Portugal 2011
- [8] Brown RE. Electric Power Distribution Reliability. 2nd ed. CRC Press; New York, USA 2009
- [9] Comassetto L, Bernardon DP, Canha LN, Abaide AR. Automatic coordination of protection devices in distribution system. Electric Power Systems Research. 2008;78(7):1210-1216
- [10] Hameyer, Kay (2001). "Electrical Machines I: Basics, Design, Function, Operation". RWTH Aachen University Institute of Electrical Machines
- [11] RE_630_tech_756508_EN. ABB Technical Manual [cit. 2020-10-5]
- [12] Electrical Energy Systems: Second Edition By Mohamed E. El-Hawary
- [13] Power transformer protection relaying (overcurrent, restricted earth fault & differential) [online] [cit. 2020-10-5]

Dostupné z: <https://electrical-engineering-portal.com/power-transformer-protection-relaying-overcurrent-restricted-earth-fault-differential#restricted-earth-fault-protection-ref>